

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики та управління в технічних системах
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 126 Інформаційні системи та технології _____
(код і назва спеціальності)

(Інтегровані інформаційні системи) _____

на тему: Система керування дорожнім рухом у місті _____

Виконав (-ла): студент (-ка) VI курсу, групи ІА-73мп _____
(шифр групи)

Павловський Владислав Олександрович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник ст. викладач, Яланецький В.А. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) Інформатики та обчислювальної техніки _____
(повна назва)

Кафедра Автоматики та управління в технічних системах _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) 126 Інформаційні системи та технології _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Павловському Владиславу Олександровичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Система керування дорожнім рухом у місті _____

науковий керівник дисертації Яланецький Валерій Анатолійович, ст. викл.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації 03.12.2019 р. _____

3. Об'єкт дослідження транспортна система міста. _____

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) система керування дорожнім рухом – локальна адаптивна; гнучке світлофорне регулювання перехрестям за показниками щільності потоку та інтенсивності руху; цикл регулювання двофазний; мінімальна тривалість фази 20 с; максимальна тривалість фази 40 с; дискретність зміни тривалості фази 1 с. _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) структурні схеми системи та її підсистем; 2) функціональну схему підсистеми світлофорного _____

регулювання; 3) розрахунки максимальних значень щільності потоку та інтенсивності руху; 4) розробка нечіткої моделі; 5) стартап-проект.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу: _____
 1) структурна схема системи; 2) структурні схеми підсистем; _____
 3) функціональна схема блоку керування світлофорною сигналізацією; _____
 4) схеми організації світлофорного регулювання на перехресті; _____
 5) діаграма транспортного потоку; 6) алгоритм роботи світлофора. _____

7. Орієнтовний перелік публікацій Система керування дорожнім рухом у місті. _____

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 23 жовтня 2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Огляд існуючого стану проблемної області	10.09.19 р.	
	Збір та аналіз фактичних даних	20.09.19 р.	
	Розробка структурних та функціональних схем	01.10.19 р.	
	Проведення розрахунків	10.10.19 р.	
	Розробка гнучкого світлофора	20.10.19 р.	
	Розробка стартап-проекту	01.11.19 р.	
	Оформлення графічної документації	10.11.19 р.	
	Оформлення текстової документації	20.11.19 р.	
	Подання магістерської дисертації до захисту	03.12.19 р.	

Студент

_____ (підпис)

В.О. Павловський
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

В.А. Яланецький
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» на тему «Система керування дорожнім рухом у місті»: 121 с., 5 розділів, 31 таблиця, 24 рисунка, 43 джерела, 11 додатків.

Інтенсивне збільшення кількості транспортних засобів у містах України за останні роки призвело до значного перевантаження транспортної мережі, утворення транспортних заторів. Хоча виникнення заторів обумовлено багатьма факторами, значна їх кількість сконцентрована на регульованих перехрестях.

Метою даної роботи є підвищення ефективності керування дорожнім рухом у місті. Особлива увага приділяється керуванню світлофорними об'єктами з використанням сучасного апарата нечіткої логіки.

Розроблено структуру побудови системи керування дорожнім рухом в місті. Виділено підсистеми реєстрації дорожнього руху, світлофорного регулювання, керування зовнішнім освітленням. В такому випадку система легко модернізується і масштабується.

Проведено дослідження транспортного потоку. Побудовано математичну модель нечіткого логічного виведення для гнучкого регулювання тривалості фаз двохфазного світлофорного об'єкта.

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ, АСКДР, ДОСЛІДЖЕННЯ
ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ, СВІТЛОФОРНЕ РЕГУЛЮВАННЯ, НЕЧІТКА
ЛОГІКА, СИСТЕМА НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИВЕДЕННЯ

ABSTRACT

Master's thesis of Master's educational and qualification level on the subject “Traffic Management System in the City”: 121 pages, 5 sections, 31 tables, 24 figures, 43 references, 11 supplements.

In recent years, the intensive increase of vehicles in the cities of Ukraine has led to significant overload of the transport network and formation of traffic jams. Although congestion is caused by many factors, many of them are concentrated at controlled intersections.

The purpose of this work is to improve the efficiency of road traffic control in the city. Special attention is paid to the management of traffic light objects using modern apparatus of indistinct logic.

The structure of construction of traffic management system in the city has been developed. The subsystems of traffic registration, traffic lights, outdoor lighting control have been highlighted. In this case, the system is easily upgraded and scalable.

The study of traffic flow was conducted. The mathematical model of fuzzy inference system for flexible phase duration control of two-phase traffic light object was constructed.

TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM, ATMS, STUDY OF TRAFFIC FLOW,
TRAFFIC LIGHT REGULATION, FUZZY LOGIC, FUZZY INFERENCE SYSTEM

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	9
ВСТУП.....	10
1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	12
1.1 Інтенсивність руху	12
1.2 Щільність транспортного потоку	13
1.3 Швидкість руху	14
1.4 Дослідження транспортного потоку	14
1.5 Організація дорожнього руху	17
1.6 Технічні засоби організації дорожнього руху	19
1.6.1 Дорожні знаки	20
1.6.2 Світлофорне регулювання.....	20
1.7 Висновки	24
2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ АСУ ДР	25
2.1 Методи управління.....	25
2.2 Локальне програмне управління.....	27
2.3 Мережеве програмне управління	29
2.4 Локальне адаптивне управління	30
2.5 Мережеве адаптивне управління	31
2.6 Висновки	33
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ У МІСТІ	34
3.1 Розробка та опис структурних схем	34
3.1.1 Загальна структурна схема системи керування дорожнім рухом у місті	34
3.1.2 Структурна схема підсистеми реєстрації дорожнього руху.....	37
3.1.3 Структурна схема підсистеми світлофорного регулювання	41
3.1.4 Структурна схема підсистеми керування зовнішнім освітленням	44
3.2 Розробка та опис функціональної схеми блока керування світлофорною сигналізацією	47
3.3 Висновки	52
4 МОДЕЛЮВАННЯ ПІДСИСТЕМИ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ	53
4.1. Аналіз сучасних досліджень і розробок	53

4.2 Математичний апарат	55
4.2.1 Нечіткі множини	55
4.2.2 Продукційні правила	57
4.2.3 Система нечіткого виведення	59
4.2.4 Нечітка логіка в Matlab.....	66
4.3 Постановка задачі.....	67
4.4 Практичне дослідження транспортного потоку.....	68
4.5 Нечітка модель	74
4.6 Лінгвістичні змінні.....	75
4.7 Нечітка база знань	76
4.8 Алгоритм нечіткого виведення Сугено	77
4.9 Тестування моделі	78
4.10 Алгоритмічне забезпечення підсистеми світлофорного регулювання.....	83
4.11 Висновки	85
5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	86
5.1 Опис ідеї проекту	86
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	88
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	89
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	94
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	97
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	100
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	102
ДОДАТОК А.....	107
ДОДАТОК Б.....	108
ДОДАТОК В	109
ДОДАТОК Г.....	110
ДОДАТОК Д.....	111
ДОДАТОК Е	112
ДОДАТОК Ж	113
ДОДАТОК З.....	114

ДОДАТОК К	115
ДОДАТОК Л	116
ДОДАТОК М	117

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АСКДР – автоматизована система керування дорожнім рухом

БКЗО – блок керування зовнішнім освітленням

БКСС – блок керування світлофорною сигналізацією

БОІ – блок обробки інформації

ВДМ – вулично-дорожня мережа

ДР – дорожній рух

ДТП – дорожньо-транспортна пригода

ОДР – організація дорожнього руху

ПДР – правила дорожнього руху

ПКЗО – підсистеми керування зовнішнім освітленням

ПРДР – підсистема реєстрації дорожнього руху

ПСР – підсистема світлофорного регулювання

РОЦ – районний операційний центр

ТЗ – транспортний засіб

ТП – транспортний потік

ЦОД – центр обробки даних

FIS – Fuzzy Inference System

GPRS – General Packet Radio Service

GSM – Global System for Mobile Communications

ВСТУП

Розвиток транспортної системи залежить від економічної ситуації в країні. Зростання промислового виробництва, розвиток аграрного сектору веде до збільшення парку комерційних транспортних засобів. Покращення соціальних стандартів рівня життя населення впливає на зростання індивідуальних легкових транспортних засобів.

На теперішній час Україна має середній показник рівня автомобілізації, що складає 202 автомобіль на 1000 жителів. Для розвинених країн цей показник становить понад 300 авт./1000 жит. Наприклад, рівень автомобілізації в США дорівнює 797 авт./1000 жит., в Італії – 625 авт./1000 жит., у Франції – 479 авт./1000 жит. [1, 2]. Значна кількість транспортних засобів сконцентрована в найбільших містах України. В м. Києві, наприклад, на 1000 жителів припадає 353 автомобіля [2]. Така ситуація не є винятковою. В усіх країнах світу рівень автомобілізації великих міст значно перевищує рівень автомобілізації самої країни [3].

Інтенсивне збільшення кількості транспортних засобів у містах України за останні роки призвело до значного перевантаження транспортної мережі, утворення транспортних заторів.

Існує декілька способів вирішення цієї проблеми [4]:

- великі капіталовкладення – будівництво і реконструкція магістралей і доріг без перехрещення в одному рівні; недоліком є складність впровадження до існуючої забудови міста;
- середні капіталовкладення – реконструкція існуючої транспортної мережі міста;
- малі капіталовкладення – застосування методів організації дорожнього руху; здійснюється за допомогою технічних засобів ОДР.

Вирішення завдань ОДР, особливо у великих містах, вимагає обов'язкового застосування автоматизованих системи керування дорожнім рухом. АСКДР в Україні впроваджено в 13 містах: Києві, Дніпрі, Харкові, Донецьку, Одесі,

Запоріжжі, Житомирі, Луганську, Миколаєві, Хмельницькому, Полтаві, Черкасах, Маріуполі [3].

Введення АСКДР в м. Києві, дозволило збільшити швидкість руху на 30–40% при зниженні рівня загазованості в середньому на 40%, шуму – на 8–10% і витрати паливно-мастильних матеріалів – на 8% [3].

Але, на сьогоднішній день, структура організації дорожнього руху застаріла і вже не в змозі ефективно впливати на процеси, що обумовлюють транспортні затори.

Основною причиною заторів є як приріст кількості автомобілів у пікові періоди доби, так і ряд організаційно-управлінських причин, однією з яких є невідповідність реальним умовам руху жорстких режимів роботи світлофорної сигналізації. Так, за результатами дослідження, проведеного в роботі [3], в місті Києві 69% транспортних заторів утворюються на регульованих перехрестях. До АСКДР підключено 412 світлофорний об'єкт з 646 наявних в столиці (станом на 30.06.2018) [5]. Це складає 63,7% від загальної кількості. За оцінками фахівців, для забезпечення належного керування дорожнім рухом у м. Києві необхідно довести кількість світлофорних об'єктів, задіяних в АСКДР, до 85–90% від загальної кількості [3]. Збільшення кількості світлофорних об'єктів, що підключено до АСКДР, дозволить організовувати «зелені хвилі» – роботу світлофорів у координованому режимі, що підвищить пропускну здатність вулично-дорожньої мережі по пріоритетних напрямках руху транспорту по годинах доби; централізоване регулювання роботи світлофорів з урахуванням дорожньої ситуації (дорожньо-транспортні пригоди, ремонт доріг, перекриття тощо) [6].

Необхідним напрямком розвитку АСКДР є впровадження інтелектуального регулювання параметрів світлофорної сигналізації [6]. В результаті переходу до гнучкого регулювання на перехрестях виникає можливість підвищити безпеку руху, наблизитися до мінімально можливих значень довжини черг, затримок, витрат палива, зниження шкідливих викидів, що виражається в економічному та екологічному ефекти.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Дорожній рух – це складна динамічна система взаємодій транспортних і пішохідних потоків.

Транспортний потік – це сукупність транспортних засобів, що рухаються по проїзній частині дороги. Залежно від кількості смуг і дозволених напрямків руху транспортний потік поділяють на такі види:

- односмуговий односторонній;
- двосмуговий односторонній або двосторонній;
- трьохсмуговий односторонній або двосторонній;
- чотирисмуговий (і більше) односторонній або двосторонній.

Залежно від виду транспортного потоку будуть відрізнятися можливості для маневрування, умови руху транспортних засобів тощо.

Найбільш затребуваними і часто вживаними характеристиками транспортного потоку є інтенсивність, щільність потоку, його склад за типами транспортних засобів та швидкість руху [7].

1.1 Інтенсивність руху

Інтенсивність руху N_a визначається числом транспортних засобів (автомобілів), що рухаються в певному напрямку або напрямках по даній смузі або дорозі і проходять через пункт спостереження за фіксований проміжок часу. Визначення інтенсивності руху становить основу оцінки стану транспортного потоку.

Інтенсивність руху є головним показником при визначенні рівня завантаженості різних доріг.

При вивченні інтенсивності руху визначають такий параметр, як нерівномірність транспортного потоку – його розподіл за часом і напрямками.

Інтенсивність руху змінюється за часом доби, днях тижня і місяцях року. При розрахунках зазвичай користуються даними про інтенсивність руху в години пік і середньодобової інтенсивності руху за рік.

На рисунку 1.1 показані приклади картограм для перетину доріг з позначенням значень інтенсивності транспортних потоків в авт./год.

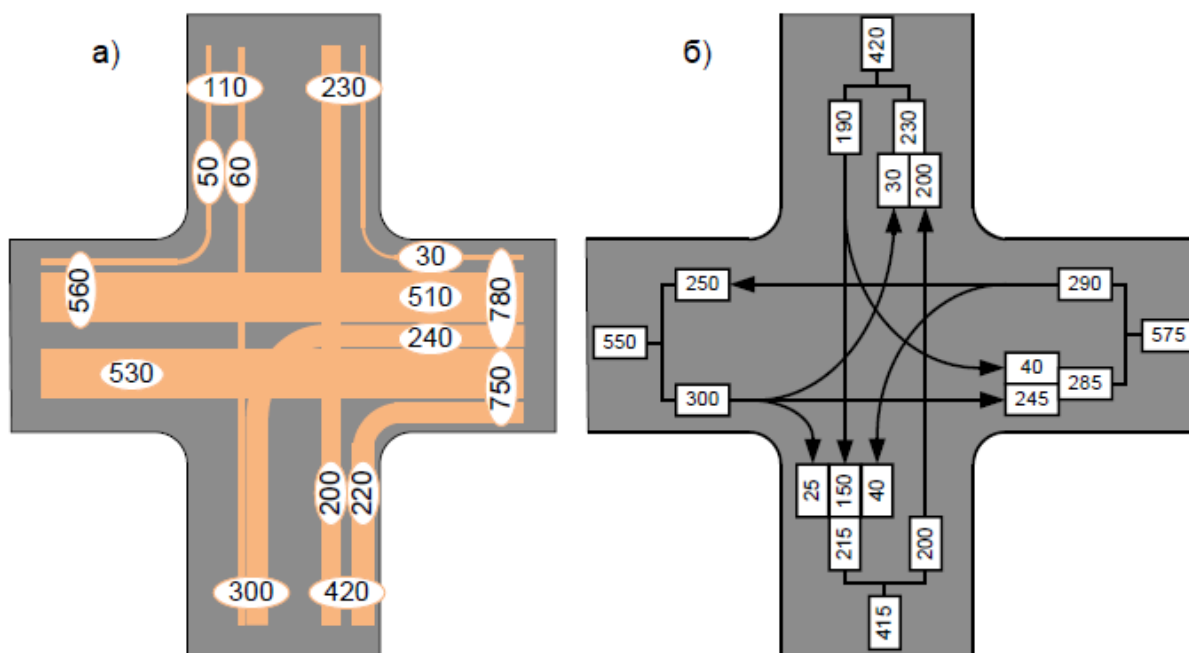


Рисунок 1.1 – Картограма інтенсивності транспортних потоків на перетині доріг: а) масштабна; б) умовна [8]

1.2 Щільність транспортного потоку

Щільність транспортного потоку q_a є просторовою характеристикою, що визначає ступінь обмеженості руху на смузі дороги. Її вимірюють числом транспортних засобів, що припадають на 1 км дороги.

Гранична щільність транспортного потоку досягається при нерухомому стані колони транспортних засобів, розташованих впритул один до одного на смузі. Граничне значення щільності транспортного потоку q_{max} становить 200 авт./км. Але практичні дослідження показали, що цей показник коливається в межах 150–180 авт./км в залежності від складу транспортного потоку.

При граничній щільності рух неможливий навіть при автоматичному управлінні автомобілями, так як відсутня дистанція безпеки. Спостереження показують, що при колонному русі автомобілів переважно малого класу з малою швидкістю щільність потоку може досягати 100 авт./км.

1.3 Швидкість руху

Швидкість руху v_a є найважливішим показником транспортного потоку, так як мета всіх заходів щодо організації дорожнього руху – забезпечення швидкості транспортного потоку, що найбільше наближена до максимально можливої за умов безпеки дорожнього руху.

1.4 Дослідження транспортного потоку

Між параметрами транспортного потоку існують певні залежності. Характер цих залежностей досить складний, на них впливає велика кількість факторів, пов'язаних не тільки безпосередньо з транспортним потоком, але і з умовами його руху по дорозі, метеорологічними умовами, порою року і доби тощо. При дослідженні транспортних потоків фактори, що впливають на них, можуть розглядатися як детерміновані або як імовірнісні величини. Імовірнісний підхід ближчий до природи транспортного потоку, але складний для математичного опису. Детермінований підхід легше реалізувати в інженерних методиках, і при ретельному аналізі вихідних даних він дає досить точні для практики результати.

При дослідженні транспортних потоків використовують два підходи. Перший передбачає дослідження процесів, що відбуваються всередині потоку, він отримав назву мікроскопічне моделювання. Мікроскопічне моделювання розглядає транспортний потік як взаємне положення автомобілів, що прямують один за одним і засноване на теорії слідування за лідером. Передбачається, що основний вплив на зміну параметрів руху конкретного автомобіля (веденого) надає зміна швидкості руху автомобіля-лідера, який знаходиться перед ним.

Другий підхід до вивчення транспортних потоків розглядає його як цілісний процес, що характеризується тільки зовнішніми параметрами. При такому підході створюються макроскопічні моделі, які розглядають такі характеристики транспортного потоку як швидкість, інтенсивність, щільність руху тощо.

Між швидкістю руху, щільністю і інтенсивністю руху існує співвідношення:

$$N_a = v_a \cdot q_a.$$

Графічно це співвідношення може бути зображено у вигляді діаграми транспортного потоку (рисунок 1.2).

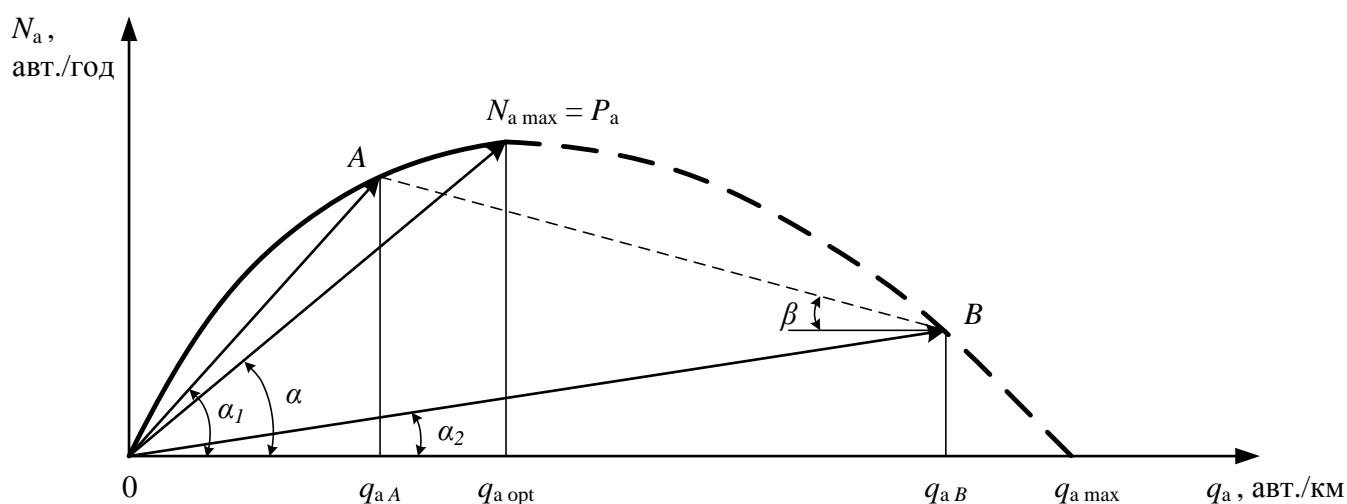


Рисунок 1.2 – Діаграма транспортного потоку [7]

Діаграма відображає зміну стану однорядного транспортного потоку переважно легкових автомобілів в залежності від збільшення його інтенсивності і щільності. Ліва частина кривої (показана суцільною лінією) відображає стійкий стан транспортного потоку, при якому в міру збільшення щільності транспортний потік проходить фази вільного, потім частково зв'язаного і зв'язаного руху, досягаючи точки максимально можливої інтенсивності – пропускної здатності:

$$N_{a max} = P_a.$$

В процесі цих змін швидкість транспортного потоку падає – вона характеризується тангенсом кута нахилу α радіуса-вектора, проведеного від точки 0 до будь-якої точки кривої, що характеризує зміну N_a .

Значення щільності і швидкості транспортного потоку, що відповідають точці $N_{a \max} = P_a$ вважаються оптимальними по пропускній здатності ($q_{a \text{ opt}}$ і $v_{a \text{ opt}}$). При подальшому зростанні щільності (за точкою P_a вигину кривої) транспортний потік стає нестійким (ця частина кривої показана штриховою лінією).

Перехід транспортного потоку в нестійкий стан відбувається внаслідок зниження плавності руху, наприклад при появі перешкоди на ділянці дороги, несприятливі метеорологічні умови і т. ін. Зниження швидкості руху автомобілем-лідером групи вимагає гальмування різної інтенсивності наступних автомобілів, а потім і прискорення, що створює пульсуючий, нестійкий потік.

Різке гальмування транспортного потоку, що знаходиться в режимі, відповідному точці A і перехід його в результаті гальмувань до стану по швидкості і щільності в положення, що відповідає, наприклад, точці B , викликає так звану «ударну хвилю» (показана тонкою штриховою лінією AB), що поширюється назустріч напрямку транспортного потоку зі швидкістю, яка характеризується тангенсом кута β .

«Ударна хвиля» є, зокрема, джерелом виникнення попутних ланцюгових зіткнень, типових для щільних транспортних потоків.

У точках 0 і q_{\max} інтенсивність руху $N_a = 0$, тобто відповідно на дорозі транспортні засоби відсутні або транспортний потік знаходиться в стані затору (нерухомості).

Радіус-вектор, проведений з точки 0 в напрямку будь-якої точки на кривій (наприклад, A чи B), що характеризує N_a , визначає значення середньої швидкості потоку:

$$v_a = \frac{N_a}{q_a} = \operatorname{tg} \alpha$$

Щільність транспортного потоку розглядається як залежна змінна, оскільки дві інші (інтенсивність і швидкість руху) є вимірюваними та незалежними змінними.

1.5 Організація дорожнього руху

Організація дорожнього руху – комплекс організаційно-правових, організаційно-технічних заходів і розпорядчих дій з управління рухом на дорогах з метою забезпечення максимально можливої безпечної швидкості дорожнього руху і необхідного рівня його ефективності і безпеки.

Заходи з організації дорожнього руху переслідують дві основні мети: підвищення безпеки руху та підвищення пропускнуої спроможності доріг.

Виконання цих заходів покладається на власників доріг або органів виконавчої влади, у підпорядкуванні якого перебувають ці дороги. Будь-які заходи щодо зміни організації руху не можуть знижувати рівень безпеки дорожнього руху.

Організація дорожнього руху передбачає:

1) організація простору для руху (вулиць, доріг, зон) із загального земного (підземного) простору, що включає матеріальне і інформаційне облаштування (інфраструктурне забезпечення) цього простору. У цьому напрямку можна виділити наступні завдання:

- дослідження характеристик дорожнього руху, яке проводять різними методами для отримання фактичних даних про рух транспортних і пішохідних потоків;
- виявлення місць підвищеної небезпеки для руху транспортних засобів і пішоходів і розробка заходів щодо їх ліквідації;
- виявлення «вузьких» місць на дорожній мережі (місць виникнення затримок руху) і розробка заходів щодо підвищення пропускнуої здатності доріг;

- на основі аналізу отриманих даних розробка раціональних схем руху та їх коригування відповідно до зміни умов і потреб в транспортних і пішохідних сполученнях.

2) розробка і впровадження інфраструктурних стандартів, стандартів для транспортних засобів; розробка правил дорожнього руху, що забезпечують безпеку, комфортність і безаварійність руху транспортних засобів, оптимальне використання простору руху і підпорядкування диспетчерського управління рухом. Це одне з найбільш складних завдань, що стоять перед фахівцями з організації дорожнього руху та планування автомобільних перевезень, а також проектувальниками геометричних елементів доріг. При її вирішенні, в залежності від поставлених цілей, необхідно визначити способи оптимізації і підстави для вибору одного з декількох альтернативних варіантів. При вирішенні цього завдання необхідно правильно прогнозувати розвиток дорожнього руху.

3) нагляд і контроль дотримання правил дорожнього руху – виявлення порушень правил і ініціювання покарань. У завдання даного напрямку входить оцінка ефективності впроваджуваних заходів щодо організації та регулюванню дорожнього руху.

4) управління дорожнім рухом – організація транспортних потоків у виділеному просторі руху з метою забезпечення безпеки дорожнього руху, з одного боку, і оптимізації використання простору руху – з іншого. У цьому напрямку можна виділити наступні завдання:

- оперативне регулювання дорожнього руху (в основному за допомогою світлофорного регулювання);
- вплив на обрані водіями режими руху за допомогою продуманої зміни дорожніх умов, з тим щоб забезпечити максимальне використання пропускної здатності дороги і безпеку руху;
- впровадження в експлуатацію нових технічних засобів управління рухом.

Нормативно-правові основи організації дорожнього руху складають: Закон України «Про дорожній рух», Закон України «Про автомобільні дороги», «Правила дорожнього руху», Державні стандарти України ДСТУ 3587-97, ДСТУ 2586-94, ДСТУ 2587-94, ДСТУ 2735-94, ДСТУ 2734-94, діючі галузеві стандарти України, Інструкції і Правила щодо забезпечення безпеки руху, охорони праці і безпеки дорожньо-ремонтних робіт, перевезень негабаритів та охорони доріг.

1.6 Технічні засоби організації дорожнього руху

Основною керуючою ланкою в системі дорожнього руху є водії, які визначають напрямок і швидкість руху транспортних засобів в кожен момент часу.

Всі інженерні розробки схем і режимів руху в сучасних умовах доводяться до водіїв за допомогою таких технічних засобів, як дорожні знаки, дорожня розмітка, світлофори, напрямні пристрої, які по суті є засобами інформації.

Чим більш повно і чітко налагоджене інформування водіїв про умови і необхідний режим руху, тим більш точними і безпомилковими будуть дії водіїв. Надмірна кількість інформації, проте, погіршує умови роботи водія.

Існує ряд класифікаційних підходів до опису інформації в дорожньому русі. Це призводить до необхідності поділяти інформацію про дорожній рух, на три групи: дорожню, позадорожню, а також таку, що забезпечується на робочому місці водія.

До дорожньої інформації відноситься все, що доводиться до відома водіїв (а також пішоходів) за допомогою технічних засобів організації дорожнього руху.

У позадорожню інформацію входять періодичні друковані видання, спеціальні карти-схеми і путівники, інформація по радіо і телебаченню, звернена до учасників дорожнього руху про типові маршрути слідування, метеорологічні умови, стан доріг, оперативні зміни в схемах організації руху тощо.

Інформація на робочому місці водія може складатися з візуальної та звукової, які забезпечуються автоматично різними датчиками, що контролюють показники режиму руху: наприклад, швидкість руху, відповідність дистанції до попереду

рухомого в потоці транспортного засобу. Особливе місце займають навігаційні системи, що використовують бортові ЕОМ і супутниковий зв'язок.

1.6.1 Дорожні знаки

Дорожні знаки в сукупності з розміткою і сигналами світлофорного регулювання складають засоби інформування учасників дорожнього руху, що формують вибір водієм режиму руху.

Дорожні знаки встановлюють відповідно до категорії дороги, транспортно-експлуатаційними характеристиками окремих ділянок і з прийнятою схемою організації руху пішохідних і транспортних потоків.

Робота з проектування розстановки знаків виконується в кілька етапів:

- 1) забезпечення зорового орієнтування та інформування водія на всьому маршруті слідування і розташування зон обслуговування руху;
- 2) аналіз стану небезпечних ділянок дороги (населені пункти, перетини, мости, тунелі, залізничні переїзди тощо) і перевірка відповідності їх транспортно-експлуатаційних характеристик вимогам безпеки і зручності дорожнього руху в різний час доби і року;
- 3) уточнення видів знаків і місць їх розташування на сполученнях небезпечних зон, пошук можливостей зменшення числа знаків без шкоди для безпеки руху, оцінка необхідності введення обмежень максимальних і мінімальних швидкостей на всій дорозі або в окремих зонах, остаточне уточнення розмірів знаків, усунення суперечливих знаків.

1.6.2 Світлофорне регулювання

Світлофорне регулювання руху призначене для почергового пропуску транспортних і пішохідних потоків по взаємно конфліктуючим напрямкам; перш за все це відноситься до перехресть з інтенсивним рухом, де за допомогою тільки знаків і розмітки не можна забезпечити безпеку дорожнього руху. Критерії введення

світлофорної сигналізації враховують інтенсивність транспортних потоків, що перетинаються, їх сумарні затримки і ступінь небезпеки руху. Крім того, світлофорне регулювання може бути використано при великій інтенсивності пішохідних потоків до місць масового відвідування (кінотеатрів, стадіонів, великих торгових і промислових об'єктів тощо) і при перетині дороги школярами в зоні розташування шкіл. Без світлофорної сигналізації неможливо забезпечити безпечний рух на залізничних переїздах. [7, 9]

Основні поняття

Напрямок регулювання – дозволені правилами дорожнього руху напрямки руху на ділянці дорожньої мережі, рух по якому регулюється сигналами світлофора. Напрями регулювання позначаються парами цифр. Для цього всі дороги, які примикають до світлофорного об'єкту нумеруються за годинниковою стрілкою (рисунок 1.3).

Такт регулювання – період дії певної комбінації сигналів. Такти можуть бути основними і проміжними. Під час основного такту дозволено рух транспортних засобів і (або) пішоходів з певних напрямків регулювання.

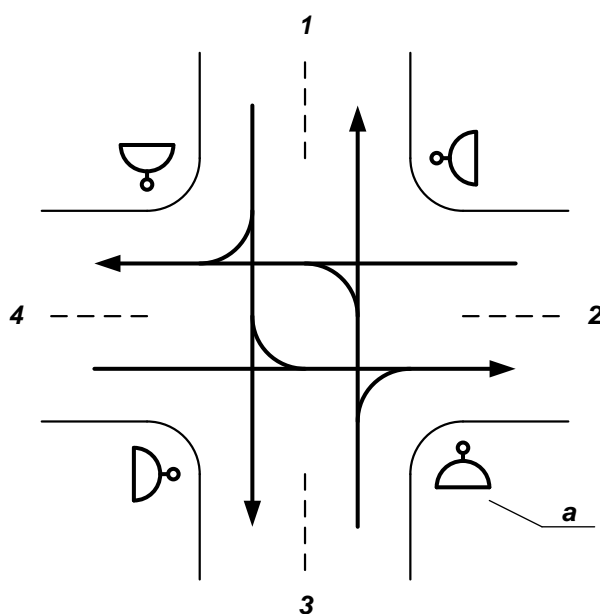


Рисунок. 1.3. – Зображення регульованих напрямків на схемі,
де *а* – умовне позначення світлофора [7]

Під час проміжного такту в'їзд з усіх напрямків регулювання заборонено для підготовки початку руху з іншого напрямку регулювання.

Фаза регулювання – сукупність основного та наступного за ним проміжного тактів. Мінімальна кількість фаз регулювання дорівнює двом.

Цикл регулювання – сумарний час всіх фаз, що використовуються на світлофорному об'єкті. Залежно від числа фаз цикл регулювання називається двофазним, трифазним і т.д. Проміжні такти становитимуть втрачений час в циклі, проте вони повинні бути достатніми для покидання транспортними засобами регульованого перехрестя.

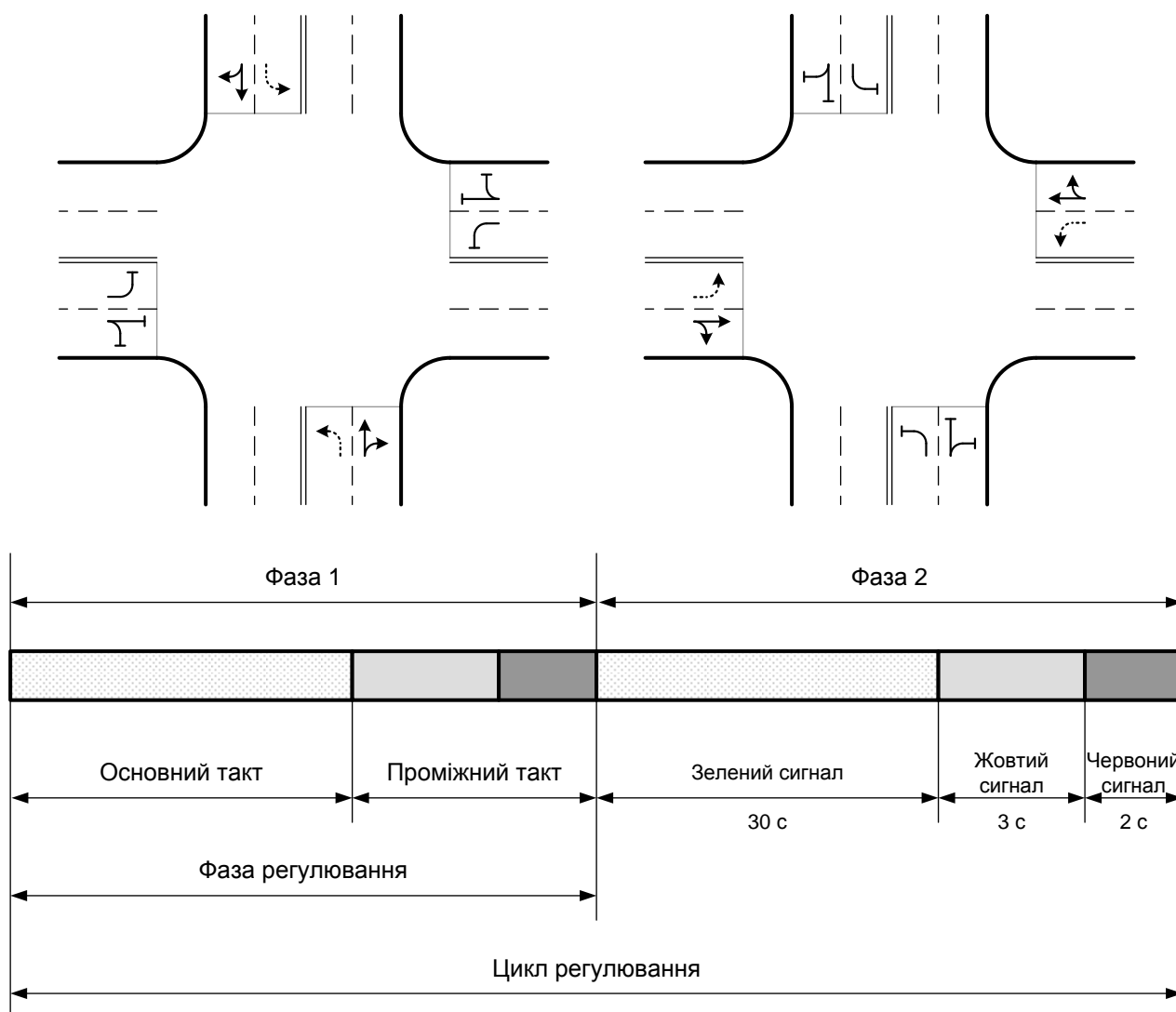


Рисунок 1.4 – Діаграма регулювання світлофора

Як правило, для двофазного циклу з урахуванням мінімізації сумарних затримок транспортних засобів на регульованому перехресті рекомендується гранична тривалість циклу 70 с, для трифазного – 90 с і для чотирьохфазного – 110 с. Для проміжного такту тривалість сигналу «червоний» або «червоний з жовтим» повинна бути не більше 2 с, тривалість жовтого сигналу повинна бути 3 с.

Втрачений час в циклі – це час, протягом якого через перехрестя не проїжджають транспортні засоби. Втрачений час приблизно дорівнює сумарній тривалості всіх проміжних тактів.

Режим регулювання – сукупність структурних характеристик циклу – його тривалості, кількості і порядку чергування фаз і тривалості тактів.

Графічно режим регулювання представляється у вигляді діаграми регулювання, зразок якої наведено на рисунках 1.4, 1.5.

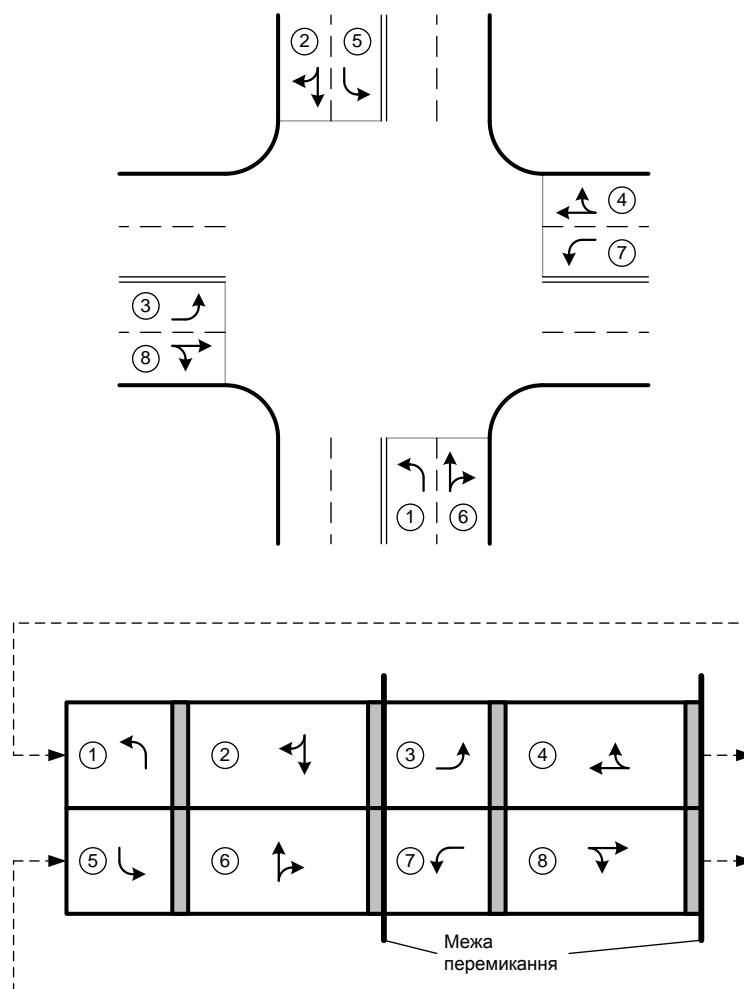


Рисунок 1.5 – Багатофазне світлофорне регулювання

Групування потоків – вибір напрямків регулювання, що входять в одну фазу світлофорного регулювання. Групування повинно виконуватися з урахуванням неприпустимості або, принаймні, мінімізації конфліктів під час руху.

Для зменшення втраченого часу в циклі при групуванні потоків необхідно прагнути до включення в цикл мінімального числа фаз. Як правило, з однієї смуги транспортні засоби повинні їхати по одній фазі у всіх дозволених з цієї смуги напрямках (рисунк 1.6).

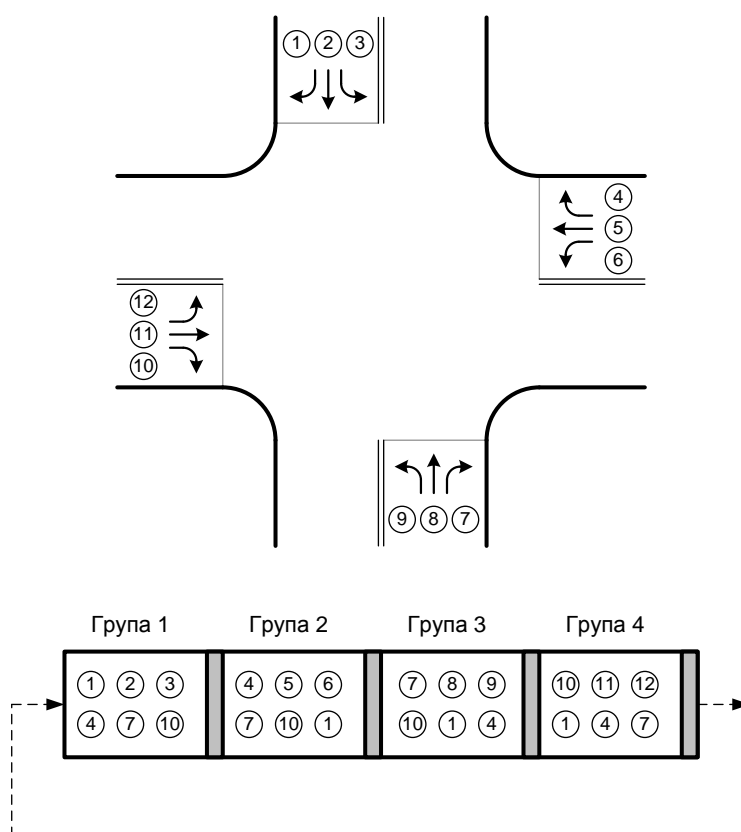


Рисунок 1.6 – Групування потоків

1.7 Висновки

В розділі розглянуто основні теоретичні відомості предметної області. Особлива увага надана таким поняттям як інтенсивність руху та щільність транспортного потоку. Розглянуто методи дослідження транспортного потоку та технічні засоби організації дорожнього руху. Докладно представлено схеми роботи світлофора і поняття, які необхідні для подальшої роботи.

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ АСУ ДР

2.1 Методи управління

Управління рухом в умовах граничного насичення доріг транспортними та пішохідними потоками вимагає більш досконалих методів регулювання руху. Все більшої актуальності набуває застосування автоматизованих систем керування дорожнім рухом, що представляють собою комплекс технічних засобів, який реалізує певні технологічні алгоритми керування транспортними потоками.

Основна мета введення АСКДР полягає в зниженні сумарних затримок транспортних засобів на перетинах в зоні дії цієї системи – на перехресті, в районі або місті.

Класифікація АСКДР з поділом за методами управління приведена на рисунку. 2.1.

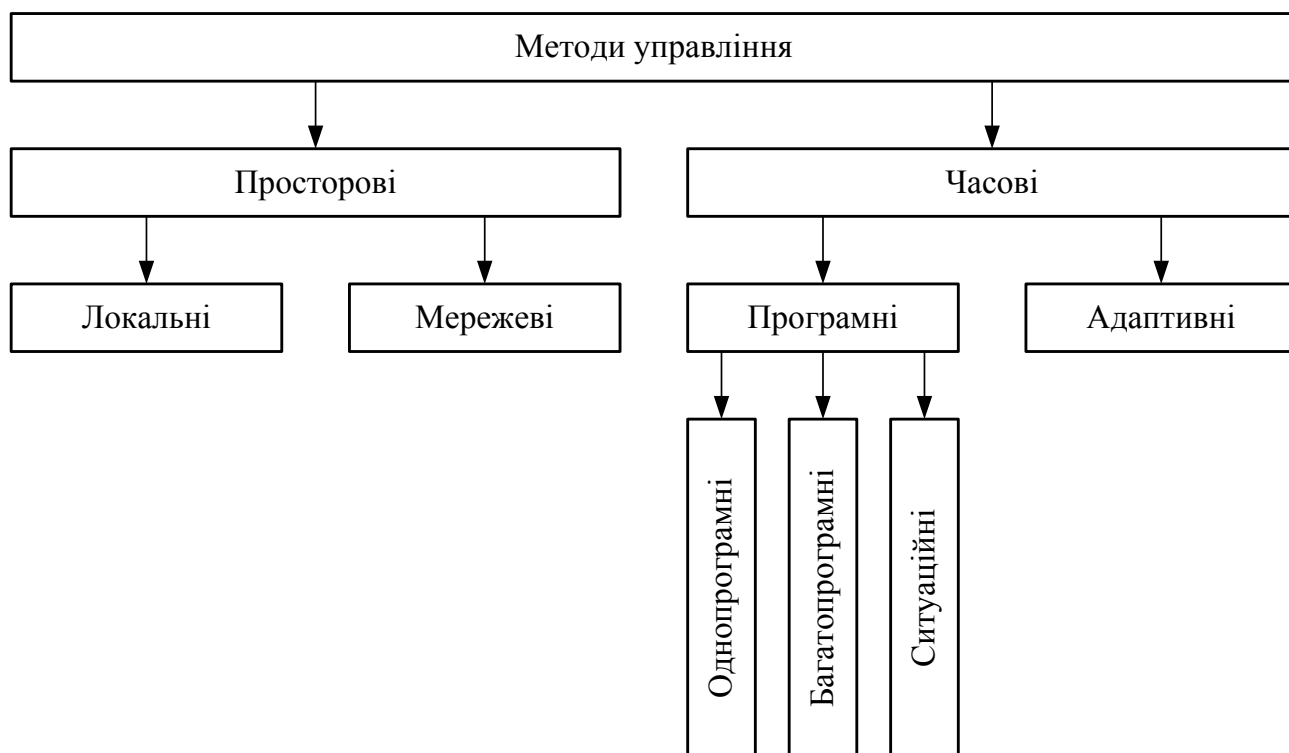


Рисунок 2.1 – Класифікація АСКДР [7]

Локальними є АСКДР, які для визначення параметрів регулювання на перехресті використовується тільки інформація про транспортні потоки на підходах до цього перехрестя і в зоні перехрестя. За допомогою локальних алгоритмів визначають цикл регулювання, послідовність фаз регулювання, їх тривалості або моменти перемикання фаз, параметри проміжних тактів.

Особливістю мережевих АСКДР є їх використання для визначення параметрів регулювання інформації про транспортну ситуацію на кількох перехрестях, зв'язаних в єдину мережу, що характеризується значною інтенсивністю руху транспортних засобів між сусідніми перехрестями і невеликими (до 600...700 м) відстанями між ними.

Як правило, на мережевому рівні визначаються цикли регулювання для групи перехресть і тимчасові зсуви для окремих світлофорних об'єктів. Для визначення цих параметрів крім даних, необхідних для локального управління, використовується інформація про топологію мережі, взаємозв'язок транспортних потоків на сусідніх стоп-лініях і (або) геометричні напрямки проїзду через перехрестя, час проїзду між сусідніми стоп-лініями.

По часовому критерію все алгоритми світлофорного регулювання поділяють на алгоритми, що реалізують управління дорожнім рухом за прогнозом (програмні, жорсткі), і алгоритми, що діють в реальному часі (адаптивні).

Управління з прогнозом не виключає досить частого (до 3-5 разів у добовому циклі) зміни параметрів регулювання, проте ці параметри визначаються не виходячи з поточної транспортної ситуації, а її прогнозування, заснованого на виконаних раніше спостереженнях.

Проміжне становище між адаптивними і неадаптивними алгоритмами займають алгоритми, засновані на ситуаційному управлінні. Алгоритми цієї групи припускають попередній розрахунок параметрів регулювання для різних класів транспортних ситуацій і створення бібліотеки типових режимів регулювання. Вибір конкретного режиму з бібліотеки проводиться в реальному часі на підставі поточної інформації про стан на дорогах і віднесення її до одного з класів транспортних ситуацій.

Таким чином, методи автоматизованого управління транспортними потоками в АСКДР можна віднести до одного з чотирьох класів, як це показано на рисунку 2.2 (для кожного класу вказані найбільш поширені алгоритми управління).

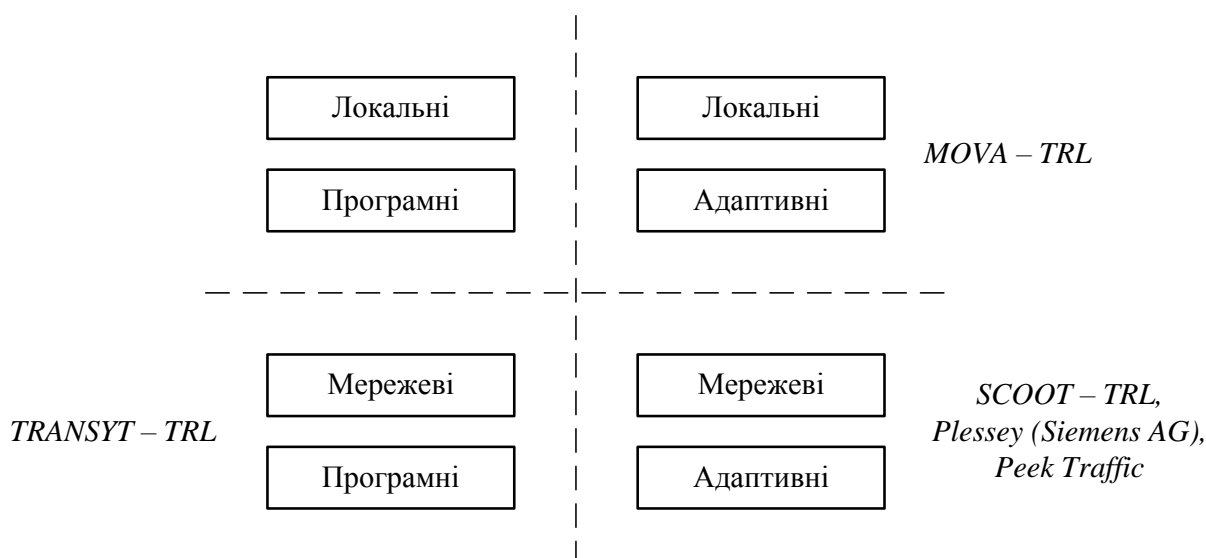


Рисунок – 2.2 Методи автоматизованого управління транспортними потоками в АСКДР [7]

2.2 Локальне програмне управління

В даний час на території України найбільш поширеним є метод локального жорсткого однопрограмного, або багатопрограмного управління світлофорною сигналізацією [5].

Даний метод заснований на попередньому розрахунку тривалості циклу регулювання і фаз регулювання.

В якості вихідних даних для розрахунку використовується інформація про інтенсивність і склад транспортного потоку за напрямками проїзду через перехрестя, про кількість смуг руху на підходах до перехрестя і їх спеціалізації, а також дані про схему пофазного регулювання і структуру проміжних тактів.

При розрахунку повинні враховуватися технологічні обмеження, пов'язані з мінімальною і максимальною тривалістю фаз. Врахування обмежень щодо мінімальної тривалості фаз дозволяє забезпечити тривалість горіння дозволяючого сигналу, достатнього для переходу пішоходами проїзної частини або, наприклад,

проїзду зони перехрестя трамваями. Врахування обмежень щодо максимальної тривалості фаз дозволяє уникнути тривалого горіння заборонного сигналу світлофора, що веде до порушення правил дорожнього руху і зниження безпеки руху.

При локальному жорсткому однопрограмному регулюванні вихідні дані, як правило, відповідають періоду максимального завантаження перехрестя, але не можуть враховувати коливання транспортного потоку і поточну зміну ситуації.

Крім жорсткого однопрограмного управління світлофорним регулюванням на перехресті можливе застосування режимів жорсткого багатопрограмного управління, при якому перемикання програм здійснюється відповідно до часу доби і днів тижня.

Такий варіант стратегії управління близький до оптимального, якщо характеристики транспортних потоків досить стійкі, а рівень завантаження перехрестя не перевищує 70%. Світовий досвід показує, що для ефективного управління необхідно використовувати набір не менше ніж з 5-7 програм, наприклад:

- програма для ранку буднього дня;
- програма для денного періоду буднього дня;
- програма для вечора з понеділка по четвер;
- програма для вечора п'ятниці;
- програма для вечора неділі;
- програма для періоду низької інтенсивності транспортних потоків (нічний);
- програма для помірної інтенсивності (вихідного дня).

Можливо також використання різних програм для літнього та зимового періодів року і спеціальних програм, розрахованих з урахуванням різних станів дорожнього покриття (сухе, мокре, ожеледь тощо) [7].

2.3 Мережеве програмне управління

Мережеве жорстке управління світлофорною сигналізацією забезпечує координацію роботи світлофорних об'єктів в межах деякого району (рисунк 2.3). Всі перехрестя району, на яких відбувається перерозподіл транспортних потоків, повинні бути обладнані світлофорною сигналізацією, яка працює з єдиним циклом регулювання.

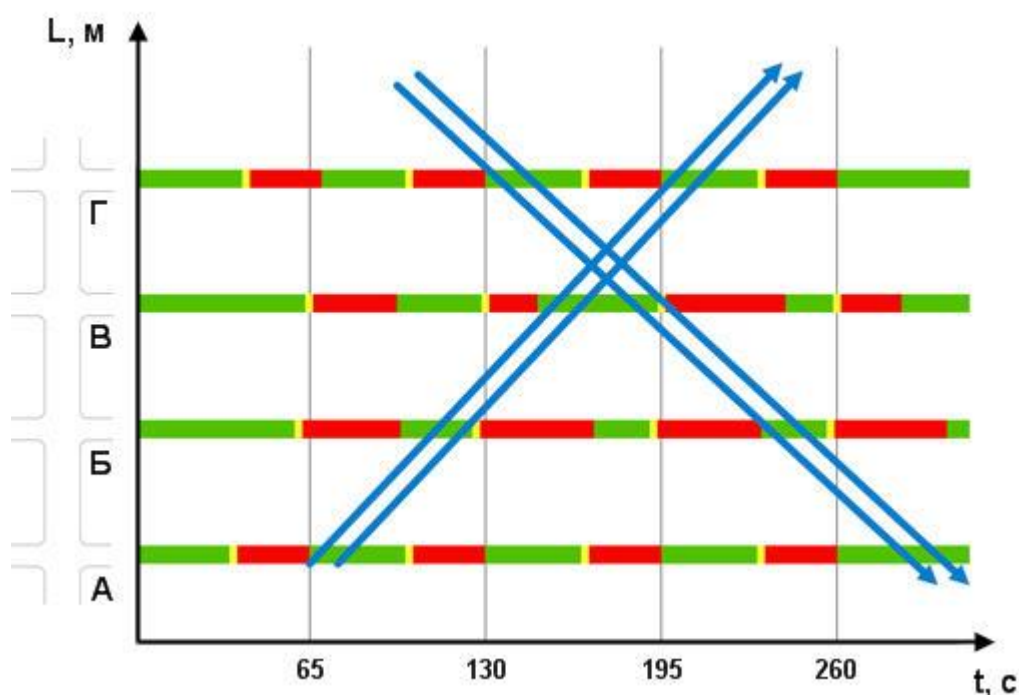


Рисунок 2.3 – Графік координованого управління світлофорною сигналізацією [9]

Практично єдиним методом розрахунку жорстких мережесих планів координації є алгоритм TRANSYT (TRAFFIC Network Study Tool), розроблений Transport Research Laboratory (TRL) на початку 1970-х рр. і удосконалюється по теперішній час.

В якості критерію оптимальності плану координації використовується зважена сума затримок транспортних засобів і числа зупинених автомобілів на всіх стоп-лініях перехресть мережі. Вагові коефіцієнти визначаються користувачем і можуть бути задані диференційовано для кожної стоп-лінії. Метод дозволяє враховувати в

цільової функції і інші критерії: витрата палива, затримки пасажирського транспорту, обсяг емісії відпрацьованих газів і т.п.

2.4 Локальне адаптивне управління

Локальні адаптивні алгоритми управління дозволяють управляти окремим світлофорним об'єктом залежно від реальної ситуації. Для цього можуть використовуватися такі методи:

1) метод пошуку розриву – припускає контроль присутності транспортних засобів в перетинах, віддалених від стоп-ліній на відстані 30–50 м;

2) метод роз'їзду черги – вимагає визначення довжин черг на напрямках проїзду через перехрестя. Визначення довжини черги може здійснюватися як безпосередньо, так і розрахунковим методом, шляхом порівняння числа транспортних засобів, що пройшли через два контрольованих перетину – на стоп-лінії і на деякій відстані від неї;

3) метод розрахункового визначення тривалості циклу і фаз – заснований на виконанні розрахунку в реальному часі даних про інтенсивність транспортних потоків і інтенсивності розвантаження черг на напрямках проїзду через перехрестя; розрахунок може виконуватися 1 раз в цикл з використанням згладжених даних, накопичених за кілька циклів, що передують розрахунку, або 1 раз в кілька циклів. Частота перерахунку, як показує світовий досвід, не повинна перевищувати 15 хв.;

4) метод прогнозу прибуття – припускає наявність інформації про моментах перетину транспортними засобами перетинів, розташованих на значній (200–300 м) віддаленні від стоп-ліній перехрестя. Ця інформація дозволяє прогнозувати моменти прибуття транспортних засобів до стоп-ліній.

Реальні алгоритми управління, як правило, використовують комбінацію перерахованих методів. Прикладом такого алгоритму може служити алгоритм MOVA, розроблений в TRL, який поєднує два останніх методи [7].

2.5 Мережеве адаптивне управління

Мережеві адаптивні методи управління світлофорним регулюванням дозволяють забезпечити його найбільшу ефективність, особливо в умовах високої інтенсивності руху, коли виконання довільного збільшення інтенсивності може привести до лавиноподібного зростання черги і блокування цілих ділянок дорожньої мережі.

Причиною сплеску інтенсивності руху і зростання рівня завантаження ділянки дорожньої мережі можуть бути як випадкове зміна параметрів транспортних потоків, так і ДТП, блокування смуги руху несправним автомобілем і т. д.

Алгоритмом мережевого адаптивного управління, який є найбільш широко застосовуваним в світі, є SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique), розроблений TRL спільно з фірмами Plessey (в даний час права перейшли до Siemens AG) і Peek Traffic. Алгоритм SCOOT використовується більш ніж в 200 містах, а, наприклад, в Лондоні зона управління SCOOT охоплює приблизно 2000 регульованих перехресть.

Район управління в SCOOT розбивається на підрайони. У межах кожного підрайону забезпечується мережева координація роботи світлофорних об'єктів з єдиним циклом регулювання.

Система збору інформації про транспортні потоки передбачає наявність датчиків на кожній смузі руху безпосередньо перед стоп-лінією і на значній відстані від неї, як правило, біля виходу зі суміжного перехрестя. Алгоритм використовує одержувану в реальному часі інформацію про інтенсивність транспортних потоків і часу проїзду транспортних засобів віддалених від стоп-ліній перетинів.

Процес оптимізації параметрів регулювання в SCOOT має трирівневу структуру, кожен рівень якої відповідає оптимізації одного типу параметрів.

На верхньому рівні для кожного підрайону виконується оптимізація циклу регулювання, для оптимізованого циклу визначаються базові тривалості фаз на кожному перехресті. Оптимізація зсувів виконується 1 раз в цикл. У кожному циклі існує можливість зміни зсуву не більше, ніж на 4 сек.

На нижньому рівні – рівні перехрестя – відбувається уточнення моментів перемикання фаз і приймається рішення про подовження або вкорочення фази на величину, що не перевищує 4 сек. Ця процедура виконується перед кожним перемиканням фаз і ґрунтується на короткостроковому прогнозі транспортної ситуації на перехресті.

Критерієм оптимальності при виборі керуючих параметрів, як і в TRANSYT, є зважена сума затримок і зупинок транспортних засобів.

Характерними особливостями SCOOT є:

- використання великого числа детекторів транспортних засобів;
- відсутність стрибкоподібних змін параметрів регулювання;
- відсутність довгострокового (на цикл і більше) прогнозу транспортної ситуації.

Технічна реалізація SCOOT передбачає централізоване управління і не пред'являє високих вимог до локальних контролерів. Модифікації SCOOT, що застосовуються в даний час, забезпечують пріоритетний пропуск громадського транспорту [7, 10].

Одночасно зі SCOOT в 70-і і 80-і роки стали з'являтися аналогічні системи управління. Австралійська система SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) стала основним конкурентом SCOOT і також широко впроваджується в усьому світі. Як і SCOOT, SCATS відноситься до систем, «чутливих» до транспортної ситуації.

Також є і повністю адаптивні алгоритми управління – OPAC (Optimized Policies for Adaptive Control), RHODES (Real-time Hierarchical Optimized Distributed Effective System), що розробляється Університетом Аризони [10].

2.6 Висновки

В розділі наведено класифікацію автоматизованих систем керування дорожнім рухом за методами управління. Розглянуто особливості та наведено приклади найбільш поширених АСКДР кожного класу. Це дає змогу проаналізувати переваги та недоліки, окреслити задачі, які виконують існуючі системи.

Значущі системи керування дорожнім рухом, які використовуються в прогресивних столицях і великих мегаполісах світу є результатом розробок інститутів та інженерних відділів крупних компаній протягом кількох десятиліть.

Однак, ситуація в Україні потребує новітніх розробок, вдосконалення існуючих систем. Оскільки АСКДР, що впроваджені в містах України, виконують примітивні функції (моніторинг ситуації, координоване управління «зелена хвиля»), не мають повного охоплення світлофорних об'єктів, не мають сучасних алгоритмів розрахунку і оптимізації діаграм регулювання, гнучкого управління. Тому вибір теми магістерській дисертації відповідає потребам міст України і вирішує актуальні задачі стратегії розвитку міст.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ У МІСТІ

3.1 Розробка та опис структурних схем

Структура сучасних систем керування дорожнім рухом у місті будується по ієрархічному принципу. Цей принцип передбачає при виборі загальної організації системи керування виділення декількох взаємно підпорядкованих рівнів керування: локальний, районний, загальноміський.

З ростом кількості датчиків, збільшенням площі території, на якій розташована система керування і ускладненням алгоритмів керування стає більш ефективним застосування розподілених систем.

Розподілену систему керування можна визначити як систему, що складається з безлічі пристроїв, рознесених в просторі, кожне з яких не залежить від інших, але взаємодіє з ними для виконання спільного завдання. При такому підході структура розподіленої системи і структура алгоритму її роботи стають подібні до структури самого об'єкта автоматизації, а функції збору, обробки даних, керування та обчислення виявляються розподіленими серед безлічі контролерів. Кожен контролер працює зі своєю групою пристроїв введення-виведення і обслуговує певну частину об'єкта керування [11].

3.1.1 Загальна структурна схема системи керування дорожнім рухом у місті

При проектуванні системи проведена функціональна і об'єктна декомпозиція. Це дозволило виділити підсистеми за функціями, які вони виконують та отримати структуру системи керування дорожнім рухом в місті (рисунок 3.1).

АСКДР має три рівня ієрархії. Перший рівень включає світлофорні об'єкти на регульованих перехрестях та зовнішнє освітлення на дорогах, що прилягають до нього. Кожен такий об'єкт може працювати не залежно від інших. Це дає змогу проводити реконструкцію існуючих світлофорних об'єктів і вводити їх в АСКДР у порядку, який відповідає потребам міста, розробляти і впроваджувати нові

світлофорні об'єкти не впливаючи на роботу інших об'єктів, впроваджувати системи детектування транспорту, відеоспостереження за дорожнім рухом, оновлювати та обслуговувати лінії освітлення дороги та пішохідних переходів.

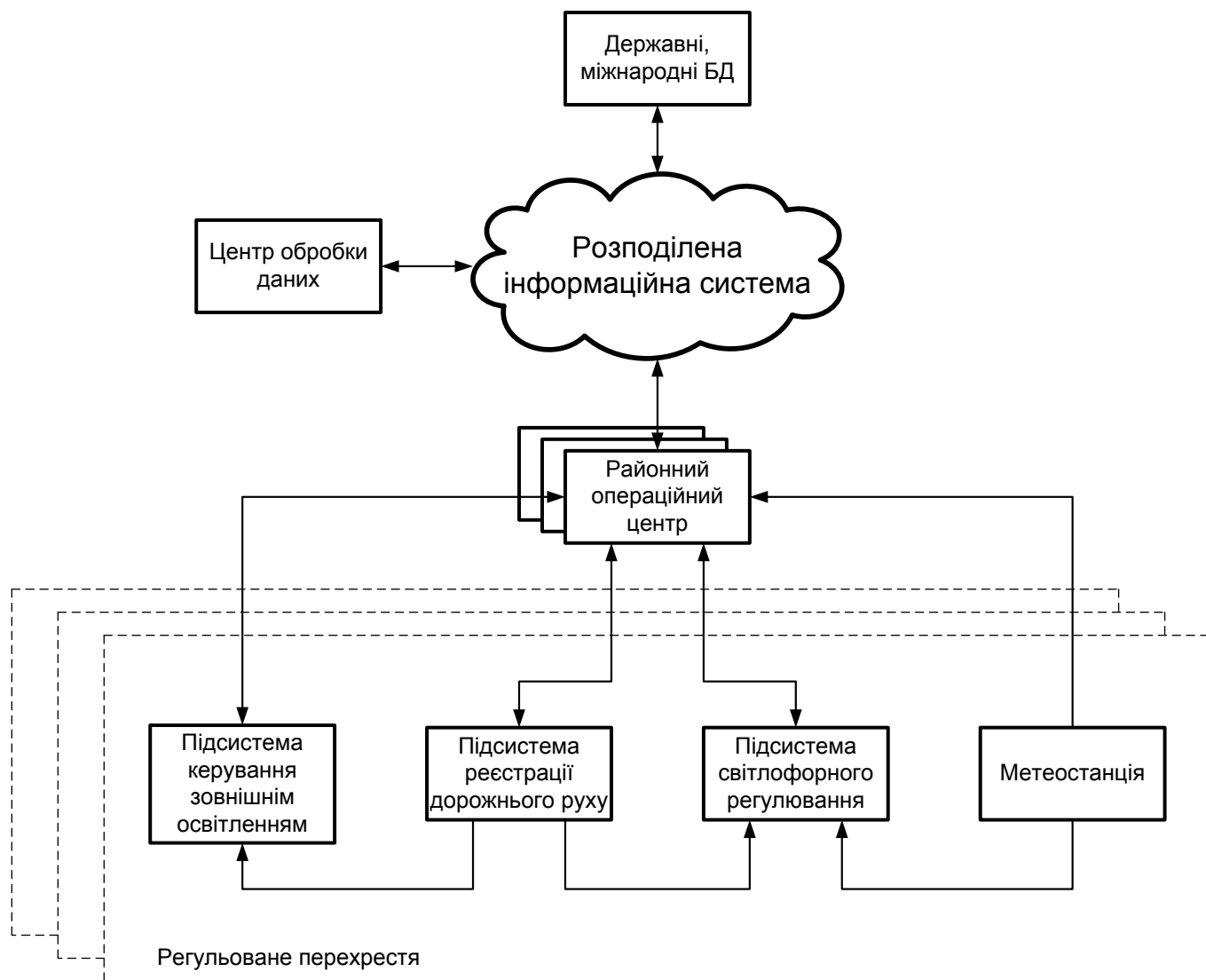


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи керування дорожнім рухом у місті

Світлофорний об'єкт має у своїй структурі підсистеми, кожна з яких виконує свої функції:

- підсистема керування зовнішнім освітленням;
- підсистема реєстрації дорожнього руху;
- підсистема світлофорного регулювання;
- метеостанція.

Підсистема реєстрації дорожнього руху надає в операційний центр по контролю за даною ділянкою дороги інформацію про інтенсивність руху, щільність та середню швидкість потоку, транспортні затори, ДТП. Завдання, які вирішує підсистема реєстрації дорожнього руху: розпізнавання державних номерних знаків транспортних засобів; фото-фіксація транспортних засобів; фіксація порушень ПДР; фіксація порушень швидкісного режиму.

Метеостанція збирає інформацію про погодні умови та стан дорожнього покриття. Метеостанції періодично передають інформацію про погодні умови в вигляді текстового або XML файлу в районний операційний центр. Погодна інформація може вплинути на введення певних швидкісних обмежень, а також на запуск специфічних керуючих сценаріїв.

Використовуючи аналітику даних з цих джерел в реальному часі і пов'язуючи їх з деякими тенденціями, з'являється можливість управляти транспортним потоком.

Світлофорне регулювання транспортних потоків – одна із основних частин задачі керування дорожнім рухом у місті.

Підсистема керування зовнішнім освітленням відноситься до систем з енергозберігаючими технологіями і призначена для автоматичного і оперативно-диспетчерського керування режимами освітлення вулиць, пішохідних зон, об'єктів і територій міст і населених пунктів з будь-якими джерелами світла (лампами розжарювання, люмінесцентними, світлодіодними та ін.).

Другий рівень ієрархії – це диспетчерські пункти в районних операційних центрах. На цьому рівні забезпечується моніторинг транспортних потоків підпорядкованих вулиць, візуальний контроль основних транспортних розв'язок, контроль порушень ПДР, вирішення оперативних задач з регулювання дорожнім рухом в умовах транспортних заторів, ДТП, проведення масових заходів тощо.

Третій, найбільш загальний рівень ієрархії забезпечує обмін інформацією між диспетчерськими пунктами районного значення і утворює розподілену інформаційну систему, яка дає доступ до великої кількості даних. Ці дані можуть мати статистичний характер і використовуватись центром обробки даних для аналізу і побудови транспортних моделей, вивчення умов дорожнього руху,

параметрів, що впливають на характеристики дорожнього руху. Метою досліджень є одержання вихідних даних для планування, проектування і модернізації доріг та споруд, а також для розробки проектів для покращення експлуатаційних режимів на існуючих транспортних мережах з урахуванням безпеки, неперервності, зручності, економічності руху та його наслідків для довкілля.

Також дані про транспортні засоби, що зібрані системою, можуть бути використані спільно з національними або міжнародними базами даних для пошуку автомобілів, що знаходяться у розшуку у зв'язку з порушенням ПДР, участю у ДТП, викрадені тощо.

3.1.2 Структурна схема підсистеми реєстрації дорожнього руху

Структурна схема підсистеми реєстрації дорожнього руху складається з наступних блоків (рисунок 3.2):

- детектори дорожнього руху;
- відеокамери;
- блок обробки інформації;
- модуль комунікації;
- охоронний датчик.

А також є можливість підключення переносного ПК для місцевого налаштування або для діагностики підсистеми реєстрації дорожнього руху.

Ідентифікація транспортних потоків є важливою частиною сучасної системи керування дорожнім рухом. Детектор (датчик) дорожнього руху – технічний засіб, що реєструє кількість транспортних засобів, яка проходить через перетин дороги, а також визначає параметри транспортних потоків. Ці дані необхідні для реалізації алгоритмів гнучкого регулювання, розрахунку або автоматичного вибору програми керування дорожнім рухом [12].

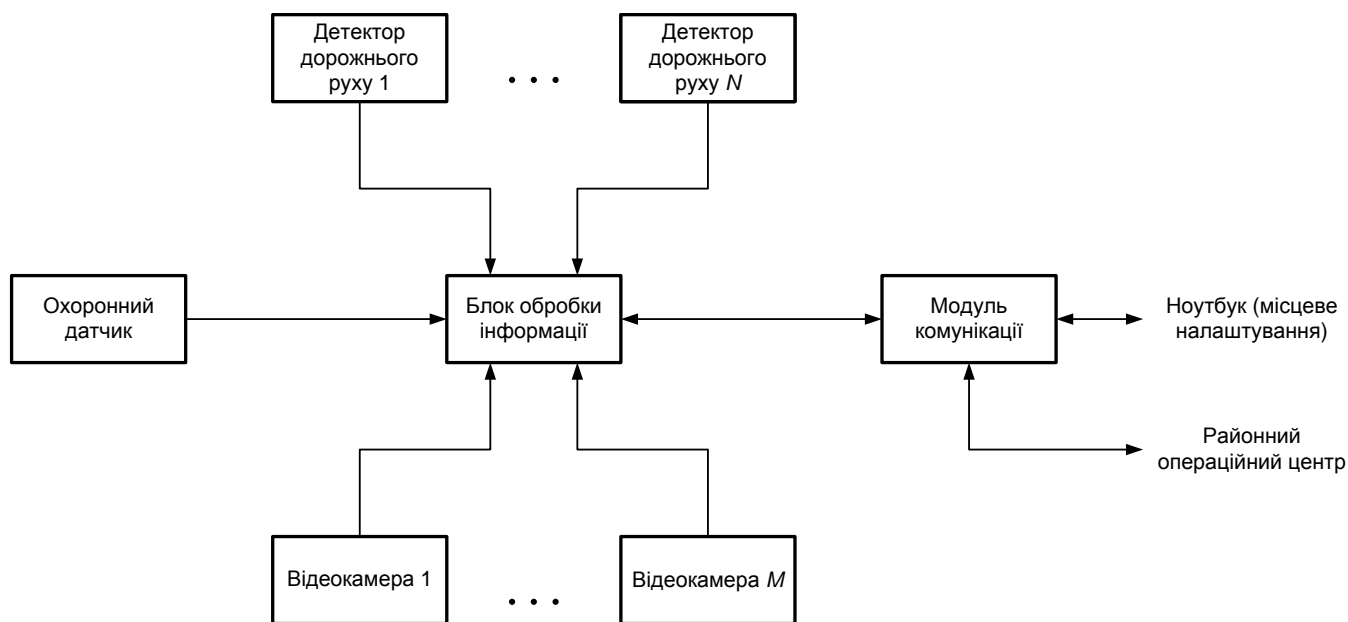


Рисунок 3.2 – Структурна схема підсистеми реєстрації дорожнього руху

За принципом дії датчики дорожнього руху можна розділити на три групи:

- контактного типу;
- випромінювання;
- вимірювання параметрів електромагнітних систем.

Класифікацію датчиків дорожнього руху за методом встановлення наведено на рисунку 3.3.

Датчики контактного типу (електромеханічні, пневмоелектричні та ін.) не отримали розповсюдження у системах керування дорожнім рухом через низьку надійність, залежність від погодних умов та складності обробки отриманих даних, оскільки вони реєструють не кількість ТЗ, а кількість осей.

Серед датчиків, що встановлюються безпосередньо в дорожньому полотні, найбільше розповсюдження отримали індуктивні датчики. Цьому сприяли простота конструкції, надійність роботи та низька вартість порівняно з іншими типами датчиків.

Датчики, що встановлюються над дорогою, відрізняються простотою встановлення, але вони дорожчі за індуктивні. Кожен з даних типів має свої переваги і недоліки. Недоліки, зокрема, пов'язані з нездатністю датчиків виявити об'єкт за певних умов або, навпаки, їх помилковими спрацюваннями [13].

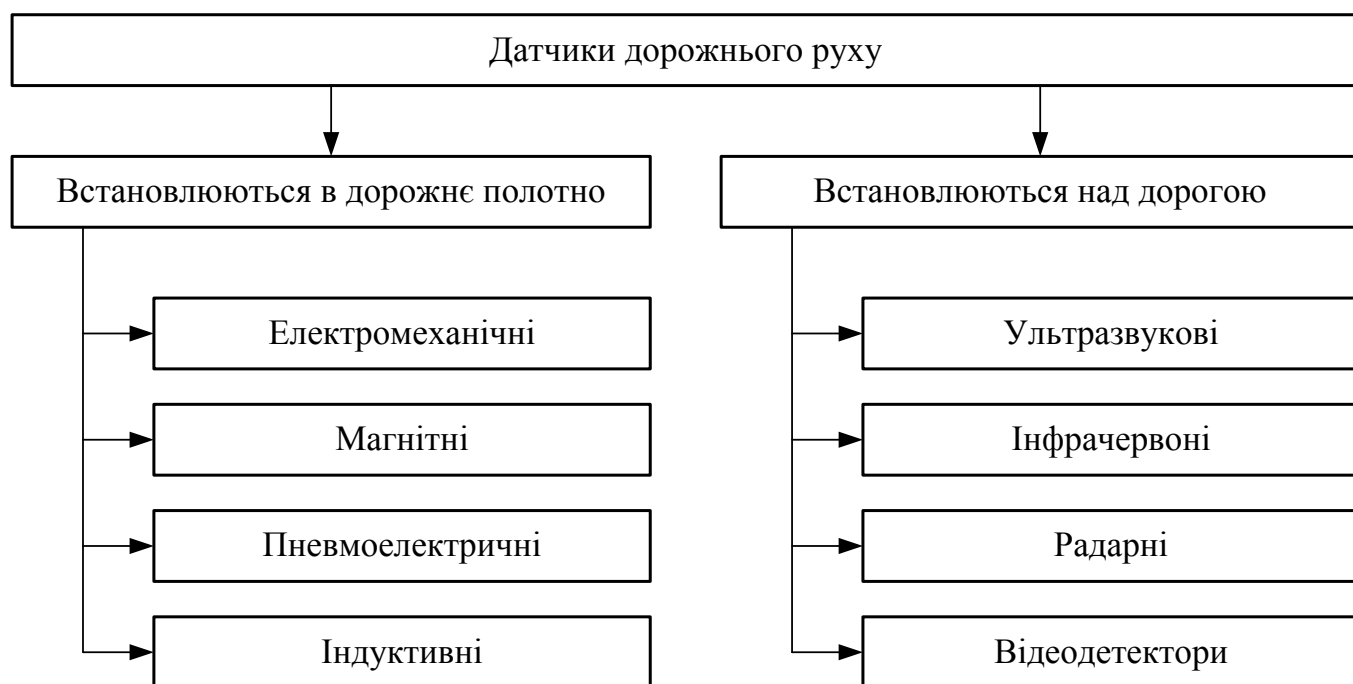


Рисунок 3.3 – Класифікація датчиків дорожнього руху [13]

Використання сукупності детекторів за принципами виявлення може значно зменшити ймовірність некоректного спрацювання датчика. Сигнал виявлення об'єкта видається тільки в тому випадку, якщо одночасно або протягом невеликого інтервалу часу спрацювають обидва детектора. Для підвищення стабільності роботи системи детектори мають бути чутливими до різних зовнішніх факторів, що завдають хибне спрацювання. У таблиці 3.1 наведена чутливість до впливу зовнішніх факторів детекторів різних типів.

З таблиці 3.1 видно, що більшість змін навколишнього середовища по-різному впливають на кожен детектор і в більшості випадків не можуть привести до одночасного спрацювання всіх детекторів.

Найбільшого поширення в даний час отримала комбінація радіохвильового активного і інфрачервоного пасивного принципів виявлення. Набагато рідше використовується комбінація ультразвукового і інфрачервоного детекторів. Існують також окремі зразки датчиків, в яких використовуються три різних фізичних принципи виявлення об'єкту, однак такі датчики рідко застосовуються на практиці.

Таблиця 3.1 – Чутливість детекторів до зовнішніх факторів

Причина некоректної роботи	Ультразвуковий детектор	Інфрачервоний детектор	Радар (радіохвильовий)
Турбулентність повітря	—	+	—
Дощ	+	—	+
Зміни температури	+	+	—
Яскраве світло	—	+	—
Електромагнітні перешкоди	—	+	+
Люмінесцентне освітлення	—	—	+
Вібрації	+	+	+
Переміщення за межами зони контролю	—	—	+

Примітка: «+» – висока чутливість; «—» – низька чутливість.

Завдання детекторів транспортного потоку полягає в зборі такої інформації про потік:

- тип транспортного засобу;
- швидкість ТЗ;
- дистанція між ТЗ;
- інтенсивність руху;
- щільність потоку;
- зайнятість смуги;
- середня швидкість по смузі;
- статистика по смугах руху;
- статистика завантаженості;
- час детектування.

Система реєстрації дорожнього руху може бути оснащена відеокамерами замість детекторів дорожнього руху. Відеокамери виконують функції детекторів дорожнього руху, а також дають візуальну інформацію про ситуацію на перехресті або напрямку, де вони встановлені. Відеокамери та прикладне програмне забезпечення, яке дозволяє аналізувати відео і отримувати корисну інформацію мають значну вартість, тому відеоконтроль впроваджують на транспортних розв'язках та окремих ділянках доріг, які мають вагоме значення для транспортної ситуації міста.

Блок обробки інформації отримує інформацію з детекторів дорожнього руху або відеокамер, обробляє її і передає структуровані дані до підсистеми світлофорного регулювання і до районного операційного центру.

Модуль комунікації включає програмно-апаратну частину для забезпечення передачі даних по каналам з різними стандартами зв'язку. Комунікація з районним операційним центром здійснюється по волоконно-оптичним лініям зв'язку з використанням Ethernet протоколу. Для забезпечення надійності роботи системи в якості резервного каналу передачі даних передбачено зв'язок по GSM каналу. Зв'язок між підсистемами, що функціонують на регульованому перехресті здійснюється по витій парі з використанням Ethernet протоколу.

Щит автоматики оснащений охоронним датчиком відкриття дверей для контролю доступу.

3.1.3 Структурна схема підсистеми світлофорного регулювання

Підсистема світлофорного регулювання складається з наступних блоків (рисунок 3.4):

- світлофори транспортні;
- світлофори пішохідні;
- датчики струму для кожного каналу світлофорів;
- цифрові табло зворотного відліку;

- знаки змінної інформації;
- блок керування світлофорною сигналізацією;
- панель ручного керування;
- модуль комунікації;
- охоронний датчик.

Є можливість підключення переносного ПК для місцевого налаштування при підключенні світлофорного об'єкта або для діагностики підсистеми світлофорного регулювання.

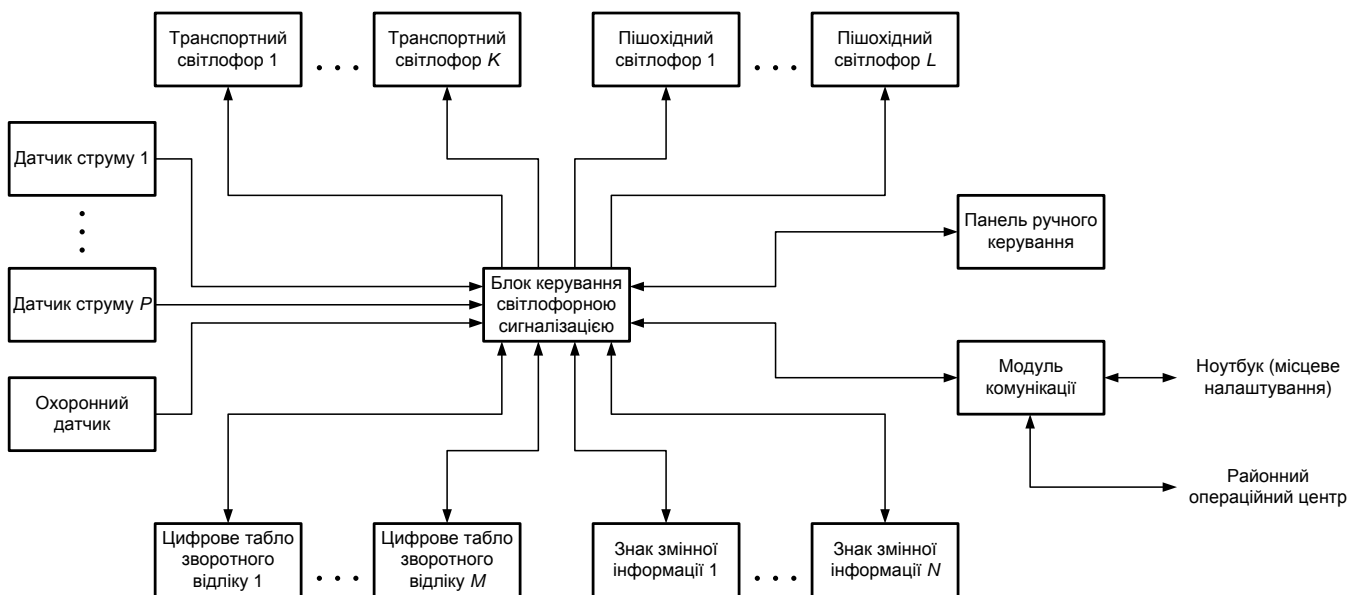


Рисунок 3.4 – Структурна схема підсистеми світлофорного регулювання

Всі світлофори, встановлені на одному світлофорному об'єкті, повинні працювати у взаємоузгоджених режимах.

Будь-який світлофорний об'єкт, що входить в систему координованого управління рухом, повинен мати можливість працювати в локальному (резервному) автоматичному режимі, незалежно від роботи інших світлофорних об'єктів.

Відповідно до [14] під час роботи транспортних світлофорів треба дотримуватися такої послідовності вмикання сигналів: «червоний – червоний з жовтим – зелений – жовтий – червоний ...». Дозволено застосовувати послідовності:

«червоний – зелений – жовтий – червоний ...», «червоний – жовтий – зелений – жовтий – червоний ...».

Для інформування водіїв і пішоходів про час, що залишився до закінчення горіння зеленого або червоного сигналу, допускається застосування цифрового табло зворотного відліку.

За конструкцією світлофори є:

- с центральним джерелом світла (лампи розжарювання, галогенні, світлодіодні модулі);
- матричні світлодіодні модулі.

Ресурс світлодіодних модулів з центральним джерелом світла набагато перевищує ресурс ламп розжарювання, галогенних джерел світла або матричних світлодіодних модулів і становить понад 100000 годин, що помітно знижує витрати на обслуговування і експлуатацію [15].

Матричні світлодіодні модулі використовуються для реалізації в світлофорі функції зворотного відліку. Сучасні пішохідні світлофори також використовують матричні світлодіодні модулі.

Контроль абсолютного значення струму і напруги в кожному каналі управління світлофорами відбувається за допомогою датчиків струму. Це дає змогу визначати конфліктні або аварійні ситуації на світлофорному об'єкті.

Знаки змінної інформації та електронні табло є засобами інформування учасників дорожнього руху про ситуацію на дорозі. Інформація на них передається з операційного центру і є результатом обробки даних, що надходять з підсистем відеоспостереження і метеостанцій.

Знаки змінної інформації призначені для видачі водіям обов'язкової або рекомендованої інформації про організацію руху: обмеження швидкості руху, проведення ремонтних робіт на проїжджій частині, зміни в організації руху (в тому числі про часткове перекриття доріг, перехресть, з'їздів), збоїв в русі (затори, ДТП, зупинки транспортних засобів через поломки), обмеження руху (при проведенні спеціальних заходів правоохоронними органами, санкціонованих масових заходах тощо), стан дорожнього покриття в зв'язку з метеорологічною ситуацією.

Знаки змінної інформації доцільно застосовувати на дорогах виходячи з потреб певної ділянки.

Блок керування світлофорною сигналізацією використовує дані, що отримані від підсистеми реєстрації дорожнього руху про транспортний потік, і застосовує алгоритми керування відповідно до ситуації. Блок керування також підключено до районного операційного центру. У разі виникнення надзвичайних ситуацій керування світлофорною сигналізацією може відбуватися з диспетчерського пульта.

Якщо блок керування світлофорною сигналізацією не отримує дані від підсистеми реєстрації дорожнього руху, або керування світлофорною сигналізацією не відбувається з диспетчерського пункту, блок керування переходить в програмний режим керування за заданим розкладом та діаграмами регулювання.

Підсистему світлофорного регулювання оснащено панеллю ручного керування для забезпечення ручного керування світлофорним об'єктом на місці. Ці дії можуть виконувати тільки співробітники відповідального відділення районного операційного центру.

Підсистема світлофорного регулювання має модуль комунікації для забезпечення передачі даних по каналах з різними стандартами зв'язку. Модуль комунікації підсистеми світлофорного регулювання працює так само, як аналогічний модуль в підсистемі реєстрації дорожнього руху.

Для забезпечення контролю доступу до щита автоматики, підсистема світлофорного регулювання оснащена охоронним датчиком.

3.1.4 Структурна схема підсистеми керування зовнішнім освітленням

Структурна схема підсистеми керування зовнішнім освітленням має наступні блоки (рисунки 3.5):

- лінії освітлення;
- датчики освітленості;
- блок керування зовнішнім освітленням;
- панель ручного керування

- модуль комунікації;
- лічильник електричної енергії;
- охоронний датчик.

Є можливість підключення переносного ПК для місцевого налаштування та діагностики підсистеми керування зовнішнім освітленням.

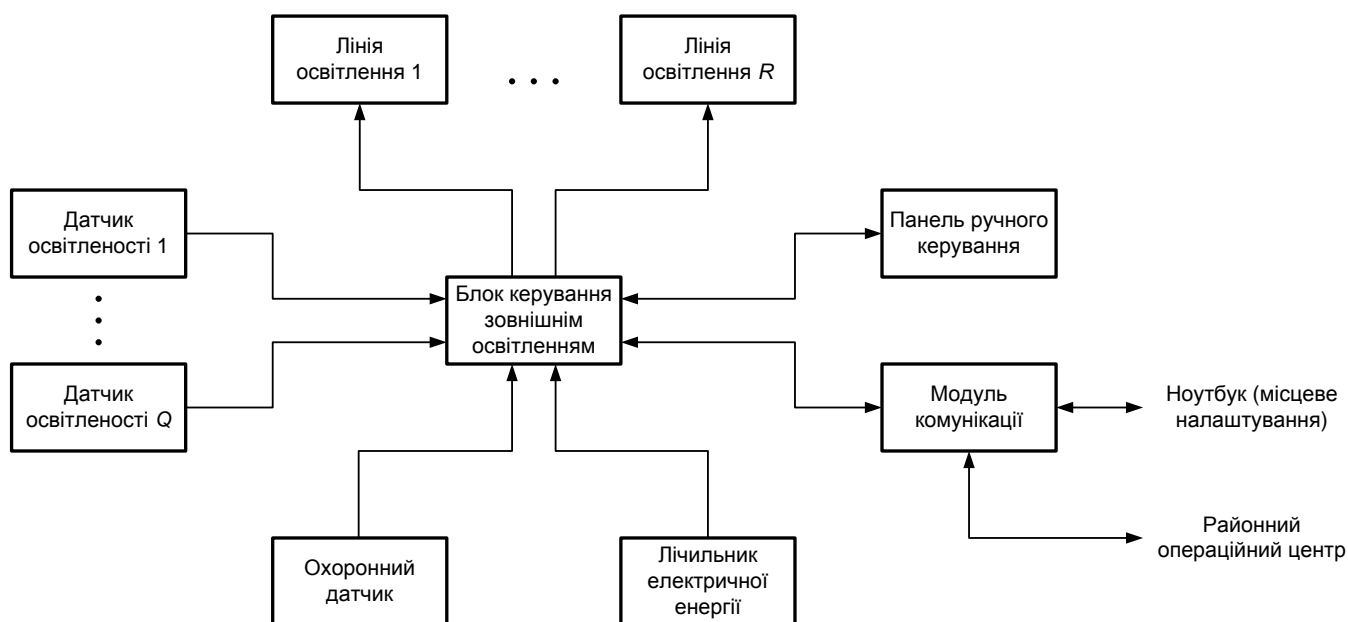


Рисунок 3.5 – Структурна схема підсистеми керування зовнішнім освітленням

На сьогодні великі міста України проводять реконструкції ліній освітлення, особливо в центральних районах та на головних магістралях міста, замінюючи старі світильники, які використовували лампи розжарювання, люмінесцентні та інші види ламп, на нові світильники зі світлодіодними модулями.

Ці зміни викликані зростанням цін на енергоносії, сучасними вимогами до енергоефективності та екологічності. Ресурсоефективність сучасних ліній зовнішнього освітлення обумовлена низькими витратами електроенергії світлодіодними модулями, легкістю керування та високою адаптивністю до зовнішніх умов (нічне освітлення з урахуванням інтенсивності руху, сонячний або похмурій день, дощ, туман).

Датчики освітленості використовують спільно з кожним світильником для забезпечення роботи підсистеми в автоматичному режимі, відображення

оперативного стану зовнішнього освітлення на мнемосхемі або на екрані монітора районного операційного центру, контролю справності окремого світильника.

Блок керування зовнішнім освітленням виконує наступні задачі:

- контроль і керування зовнішнім освітленням відповідно до заданого річного графіка освітлення;
- можливість роботи в режимі зниженої яскравості освітлення у нічний час залежно від інтенсивності руху (дані від підсистеми реєстрації дорожнього руху);
- гнучке керування зовнішнім освітленням в умовах дощу, туману тощо;
- робота в автоматичному або оперативно-диспетчерському (керування з диспетчерського пульта або за допомогою панелі ручного керування на місці) режимах.

Лічильник електричної енергії необхідний для організації дистанційного обліку використаної електроенергії.

Панель ручного керування дає можливість вмикати/вимикати зовнішнє освітлення на місті, переважно для виконання діагностики підсистеми керування зовнішнім освітленням.

Модуль комунікації виконує передачу інформації (облікової і про стан обладнання) на сервер районного операційного центру та отримує дані по керуванню і конфігурації системи. Також можливе отримання даних від підсистеми реєстрації дорожнього руху.

Модуль комунікації підсистеми керування зовнішнім освітленням працює так само, як аналогічний модуль в підсистемі реєстрації дорожнього руху.

Для забезпечення контролю доступу до щита автоматики, підсистема керування зовнішнім освітленням оснащена охоронним датчиком.

3.2 Розробка та опис функціональної схеми блока керування світлофорною сигналізацією

Блок керування світлофорною сигналізацією підсистеми світлофорного регулювання виконує наступні функції:

- обмін даними з районним операційним центром;
- отримання даних від підсистеми реєстрації ДР і метеостанції;
- аналіз даних та вибір методу керування;
- керування транспортними та пішохідними світлофорами;
- забезпечення ручного керування світлофорною сигналізацією;
- контроль конфліктних або аварійних ситуацій на світлофорному об'єкті;
- контроль доступу.

Виходячи з описаних функцій, розроблено функціональну електричну схему блока керування світлофорною сигналізацією (рисунок 3.6).

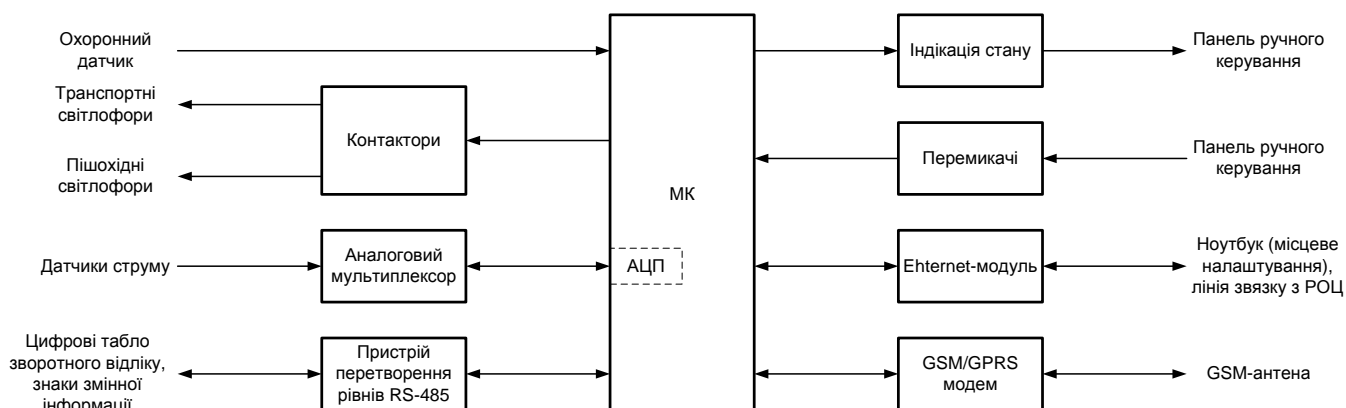


Рисунок 3.6 – Функціональна електрична схема блока керування світлофорною сигналізацією

Обчислювальним і керуючим пристроєм в блоці керування світлофорною сигналізацією є мікроконтролер.

Використання в сучасному мікроконтролері достатнього потужного обчислювального пристрою з широкими можливостями, побудованого на одній

мікросхемі замість цілого набору, значно знижує розміри, енергоспоживання і вартість побудованих на його базі пристроїв.

В даний час багатьма постачальниками випускаються 8, 16 і 32-розрядні МК з ємністю пам'яті програм до десятків кілобайт, невеликими ОЗУ даних і набором таких інтерфейсних і периферійних схем, як паралельні і послідовні порти вводу/виводу, таймери, аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі, широтно-імпульсні модулятори та ін.

Популярністю у розробників користуються 8-бітові мікроконтролери PIC фірми Microchip Technology і AVR фірми Atmel, 16-бітові MSP430 фірми Texas Instruments, а також 32-бітові мікроконтролери, архітектури ARM, яку розробляє фірма ARM. Визнаними авторитетами в області створення і виробництва МК також є такі фірми, як Motorola (68HC05, 68HC08, 68HC11), Zilog (Z8), STMicroelectronics (STM8, STM32), Dallas Semiconductor, Infineon/Siemens, Fujitsu, Mitsubishi Electronics та ін. [16, 17].

Комутація живлення транспортних та пішохідних світлофорів відбувається за допомогою контакторів. Для забезпечення надійності і безпеки використовується гальванічна розв'язка силових та інформаційних ланцюгів.

Гальванічна розв'язка виконує передачу енергії або сигналу між електричними ланцюгами без електричного контакту між ними. Гальванічні розв'язки використовуються для передачі сигналів, для безконтактного управління і для захисту обладнання і людей від ураження електричним струмом.

Без використання гальванічної розв'язки граничний струм, що протікає між ланцюгами, обмежений тільки електричними опорами, які зазвичай відносно малі. В результаті можливе протікання паразитних, або інших струмів, здатних пошкодити компоненти ланцюга або уразити людей, які торкаються до обладнання, що має електричний контакт з ланцюгом. Прилад, що забезпечує розв'язку, обмежує передачу енергії з одного ланцюга в іншу.

Існує досить багато відносно простих схем, що дозволяють виконати це завдання. Ці схеми можна розділити на ряд груп, які використовують:

- твердотільні реле;

- оптодіоди і оптодіодні історії;
- оптрони;
- драйвери тиристорів і сімисторів.

У всіх випадках ланцюги виявляються електрично розділеними, але між ними можлива передача енергії або сигналів.

Для організації зворотного зв'язку з світлофорами використовують датчики струму на кожний канал. Виміри струму з датчиків надходять до аналогового мультиплексора. Мультиплексор комутує один з входів з виходом і передає сигнал до аналогово-цифрового перетворювача мікроконтролера.

Цифрові табло зворотного відліку підключаються до блока керування світлофорною сигналізацією по послідовному інтерфейсу RS-485. Для організації роботи цього інтерфейсу в блоці керування світлофорною сигналізацією передбачений пристрій перетворення рівнів RS-485.

З панелі ручного керування на мікроконтролер надходять сигнали від перемикачів. За допомогою перемикачів можна ввімкнути, або вимкнути світлофорний об'єкт, перезавантажити його в разі збою програми, перевести світлофорний об'єкт в режим «жовтого миготливого», або ввімкнути окремі напрямки руху. А на панелі управління відображається світлова індикація про стан об'єкта.

В якості протоколу передачі даних між підсистемами світлофорного об'єкта, для підключення ноутбука, а також для забезпечення основного каналу зв'язку об'єкта з районним операційним центром, використовується Ethernet протокол.

Ethernet є незамінним інструментом для створення високонадійних промислових мереж і високошвидкісних каналів передачі даних. В даному випадку слова «надійний» і «високошвидкісний» є ключовими. Жоден з бездротових або дротових інтерфейсів не зможе змагатися з Ethernet за цими показниками.

Ethernet працює на двох нижніх рівнях моделі OSI: фізичному і каналному. У загальному випадку для реалізації Ethernet потрібно стандартний набір функціональних компонентів: мікроконтролер (процесор), Ethernet-контролер з MAC-адресою (Ethernet Controller), мікросхема PHY, Ethernet-комутатор (Ethernet

Switch), елементи захисту (варистори, TVS-діоди, захисні діоди), трансформатор, мережевий роз'єм.

Якщо оцінювати Ethernet з точки зору вартості реалізації, то він, звичайно, поступиться більш простим мережам, наприклад, RS-422/RS-485. Однак для багатьох промислових додатків забезпечення високої швидкості передачі даних виявляється більш важливою вимогою.

Проте, на ринку з'являється все більше мікросхем і рішень, що дозволяють при мінімальних витратах ресурсів реалізувати Ethernet-інтерфейс. Наприклад, номенклатура компонентів виробництва компанії Microchip має безліч Ethernet-рішень: мікроконтролери з Ethernet (PIC18 з MAC і PHY, PIC32 з MAC, SAM ARM з MAC), мікросхеми PHY, Ethernet-контролери, комутатори, закінчені перетворювачі інтерфейсів USB-Ethernet [18].

Компанія STMicroelectronics також надає користувачам необхідні апаратні засоби для реалізації Ethernet-каналу в своїх розробках: високопродуктивні і недорогі мікроконтролери (STM32F107 з MAC) на базі ядра ARM Cortex™-M3, трансивери фізичного рівня, захисні діодні збірки, лінії передачі і мікросхеми PoE (мікросхема забезпечення живлення через Ethernet) [19].

Для доступу та організації обміну даними по мережі GSM/GPRS використовується GSM/GPRS модем.

GPRS – це стандарт ETSI (European Telecommunications Standards Institute) для пакетної комутації в системах GSM. В даний час по всьому світу найбільш широко поширені мережі на основі GSM і їх називають мережами другого покоління (2G). Технологія GSM використовує варіацію TDMA (time division multiple access) і є найбільш широко використовуваною з трьох основних цифрових бездротових технологій (TDMA, GSM і CDMA).

GSM оцифровує і стискає дані, потім пересилає їх по каналу з двома іншими потоками даних, кожен в своєму власному часовому інтервалі (в тайм-слоті). Функціонує на частоті або 900 МГц, або 1800 МГц.

GPRS є технологією, що накладається, яка розповсюджується на мережах GSM, CDMA і TDMA. Ця технологія застосовує новий метод ефективної передачі

пакетних даних по радіомережі. Технологія пакетної комутації заснована на методах IP і X.25, обидва з яких дуже популярні і широко використовуються в багатьох мережах. Пакетна комутація GPRS працює в цілому так само, як і пакетна комутація IP, тобто дані розщеплюються на пакети і пересилаються за призначенням різними шляхами по мережі, потім знову збираються на приймаючій стороні. Пакетна комутація GPRS допускає будь-який існуючий трафік IP або X.25 для пересилання даних через радіомережу GPRS.

GPRS використовує радіополосу шириною в 200 кГц, і вона ділиться на вісім каналів. Загальна обсяг каналів становить 271 кбіт/с, але кожен з цих каналів здатний передавати потоки даних в 14,4 кбіт/с. Теоретично можлива швидкість в 115 кбіт/с, але в реальних умовах вона використовується вкрай рідко. Середня швидкість в 48 кбіт/с є найбільш вірогідною оцінкою, оскільки точки доступу поділені між багатьма користувачами. Цей результат набагато краще, ніж можуть запропонувати існуючі пристрої мобільних комунікацій, що дають всього 9,6 кбіт/с. Іншим важливим аспектом інтернет-зв'язку через GPRS – і це перше такого роду впровадження для широкосмужової мережі – є те, що з'єднання безперервно (завжди «он-лайн»), і в той же час йому не доводиться підтягувати ресурси з точок доступу в той час, коли воно не використовується, тому що дані передаються тільки тоді, коли в цьому є необхідність. Приймач запитує інформацію, і пристрій підтягує в цей момент радіо-ресурси, а потім знову знаходиться в неробочому стані, поки не починає приймати запитану інформацію. Радіо-смуги розподіляються динамічним чином, в залежності від типу контенту – одночасно кілька або навіть більше, в залежності від того, чи передається текстове повідомлення або «живе» відео [20].

Механізм здійснення доступу диспетчерської мережі до світлофорного об'єкту полягає в організації віртуальної приватної мережі (VPN – Virtual Private Network) для абонентів GPRS, які є об'єктами АСКДР, і відкриття для них окремого імені точки доступу (APN – Access Point Name). Після цього, при відповідних налаштуваннях абонентських пристроїв і термінального обладнання, можна ініціювати сесію зв'язку між об'єктами, з якої завгодно сторони, використовуючи стек TCP/IP і адресацію IP для ідентифікації об'єктів мережі.

Охоронний датчик реалізовано переривником ланцюга.

3.3 Висновки

В розділі подано опис розроблених структурних схем системи керування дорожнім рухом в місті, підсистеми реєстрації дорожнього руху, підсистеми світлофорного регулювання, підсистеми керування зовнішнім освітленням. Розглянуто кожен блок структурних схем: призначення, особливості реалізації, взаємодія з іншими блоками.

Також розроблено і описано функціональну схему блоку керування світлофорною сигналізацією.

4 МОДЕЛЮВАННЯ ПІДСИСТЕМИ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

4.1. Аналіз сучасних досліджень і розробок

Перед початком моделювання підсистеми світлофорного регулювання проведено аналіз сучасних досліджень і розробок для виявлення найбільш перспективних напрямків.

В роботі [21] описано традиційний алгоритм керування транспортними потоками на перехресті з фіксованими порядком і тривалістю ввімкнення світлофорів. В якості альтернативи запропоновано алгоритм управління світлофорами на транспортному перехресті з гнучкою системою регулювання послідовності потоків і варіативністю часу роботи зеленого сигналу світлофора, на основі нейронних мереж побудована математична модель перехрестя.

У статті [22] розглядається задача створення інтелектуальної системи управління світлофорами на основі нейронної мережі. Введено поняття стану перехрестя (групування за напрямками руху). Особливістю нейронної мережі, що розроблена авторами, є те, що їй належить вирішувати комбіновану задачу оптимізації та кластеризації, тоді як моделі нейронних мереж призначені для вирішення або задачі оптимізації, або задачі кластеризації.

В роботі [23] досліджуються можливості регулювання режимів роботи світлофора методами нечіткої логіки з метою збільшення пропускну здатності елементів вулично-дорожньої мережі.

В роботах [24, 25] розглядається досвід алгоритмізації світлофорного регулювання з використанням нечіткої логіки. Розроблено та реалізовано імітаційні моделі ряду адаптивних алгоритмів керування транспортним потоком, таких як м'яке програмування світлофорних об'єктів з використанням нечіткої логіки, роз'їзду черг, пошуку розривів у транспортному потоці, пошукової оптимізації з використанням формули Вебстера, прямій мінімізації транспортних затримок в процесі імітації. Виконано порівняння можливого ефекту від застосування

перелічених адаптивних алгоритмів з роботою світлофора з фіксованою тривалістю фаз при різній завантаженості транспортної мережі.

У роботі [26] представлено рішення задачі оптимізації часу роботи сигналу світлофора, що дозволяє рух, на регульованому перехресті з заданими значеннями потоків автомобілів в кожному з напрямків. В якості цільової функції вибрано сумарний час очікування для всіх машин кожного з напрямків досліджуваного перехрестя. Параметрами оптимізації виступають тривалості сигналу світлофора. В якості обмежень в задачі оптимізації використовуються максимальна і мінімальна тривалість сигналів, що дозволяють і забороняють рух. Для пошуку умовного екстремуму використано метод множників Лагранжа, що дозволяє знайти точне рішення задачі, яке не є цілочисельним. Для пошуку цілочисельного рішення застосовано чисельний метод прямого пошуку.

В роботі [27] розглядається можливість застосування симплекс методів для вирішення транспортної задачі. Основою для обчислень в даній роботі послужило середнє число автомобілів, що накопичилися на перехресті за певний період часу, а середні значення довжини черги і затримки є показниками ефективності.

В роботі [28] пропонується використання генетичного алгоритму для розрахунку оптимального режиму роботи світлофора.

Автори роботи [29] використовують теорію масового обслуговування для опису роботи перехресть, для уточнення математичної моделі застосовують комп'ютерну програму імітаційного моделювання. Оптимальні параметри циклу роботи світлофора вибираються після багаторазового використання моделі з різними значеннями вхідних параметрів.

Автори методики [30] при оптимізації роботи світлофора в якості цільової функції використовують максимум сумарної інтенсивності руху автомобілів на підвідомчій території.

Спосіб адаптивного управління дорожньої мережею розглядається в роботі [31]. Даний підхід заснований на швидкій реакції світлофорів на прогноз поведінки потоку автомобілів на перехресті.

4.2 Математичний апарат

Нечітка логіка – розділ математики, який є узагальненням класичної логіки і теорії множин. Уперше введений Лотфі Заде в 1965 році як розділ, що вивчає об'єкти з функцією належності елемента до множини, яка приймає значення у інтервалі $[0, 1]$, а не тільки 0 або 1 [32].

На основі цього поняття вводяться логічні операції над нечіткими множинами, і формулюється поняття лінгвістичної змінної.

4.2.1 Нечіткі множини

Нечітка множина – це пара (A, μ) , де A – ім'я нечіткої множини, а μ – функція належності $\mu: X \rightarrow L$. Часто покладається $L = [0, 1]$, а як X використовується деяка множина дійсних чисел.

Функція належності – це суб'єктивна міра нечіткості, що визначається в результаті опитування експертів про ступінь відповідності елемента X поняттю, що формалізується нечіткою множиною A . При побудові функції належності з кожною нечіткою множиною A асоціюється деяка властивість, ознака або атрибут g , яка характеризує деяку сукупність об'єктів X . Чим більшою мірою конкретний об'єкт $x \in X$ володіє цією властивістю g , тим ближче до відповідного значення $\mu_A(x)$. Якщо елемент $x \in X$ безумовно володіє цією властивістю g , то $\mu_A(x) = 1$, якщо ж $x \in X$ безумовно не володіє цією властивістю g , то $\mu_A(x) = 0$ [33].

При описі об'єктів і явищ за допомогою нечітких множин використовуються поняття нечіткої і лінгвістичної змінних.

Нечітка змінна характеризується трійкою $\langle a, X, A \rangle$, де:

a – ім'я нечіткої змінної;

X – універсальна множина, на який задано значення змінної a ;

A – нечітка підмножина універсальної множини X , для кожного елемента якого визначена функція $\mu(x)$, що задає ступінь належності даного елемента до множини A [32].

Лінгвістичною змінною називається набір $\langle b, T, X, G, M \rangle$, де:

b – ім'я лінгвістичної змінної;

T – множина значень лінгвістичної змінної – терм-множина, що представляє собою імена нечітких змінних, областю визначення кожної з яких є множина X . Множина T називається базовою терм-множиною лінгвістичної змінної;

G – синтаксична процедура, що дозволяє оперувати елементами терм-множини T , зокрема, генерувати нові терми (значення). Множина $T \cup G(T)$ називається розширеною терм-множиною лінгвістичної змінної, де $G(T)$ – множина згенерованих термів;

M – семантична процедура, що дозволяє перетворити кожне нове значення лінгвістичної змінної, утворене процедурою G , у нечітку змінну, тобто сформувати відповідну нечітку множину.

Найбільш важливим застосуванням теорії нечітких множин є контролери нечіткої логіки. Їх функціонування дещо відрізняється від роботи звичайних контролерів. Для опису системи замість диференціальних рівнянь використовуються знання експертів. Ці знання можуть бути виражені за допомогою лінгвістичних змінних, які описані нечіткими множинами.

Загальна структура мікроконтролера, що використовує нечітку логіку, містить у своєму складі наступні складові (рисунки 6.1):

- блок фазифікації;
- базу знань;
- блок прийняття рішень;
- блок дефазифікації.

Блок фазифікації перетворює чіткі величини, виміряні на виході об'єкта керування, у нечіткі величини, що описані лінгвістичними змінними в базі знань.

Блок прийняття рішень використовує нечіткі продукційні правила, закладені в базі знань, для перетворення нечітких вхідних даних у необхідні керуючі впливи, що носять також нечіткий характер.

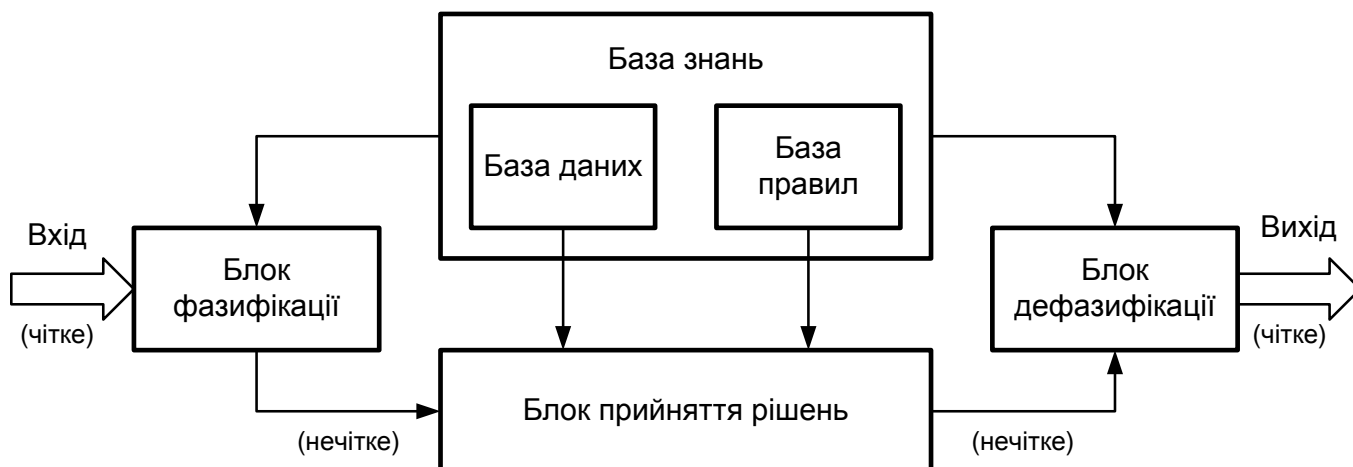


Рисунок 4.1 – Загальна структура нечіткого мікроконтролера

Блок дефазифікації перетворює нечіткі дані з виходу блоку рішень у чітку величину, що використовується для керування об'єктом.

Як приклад відомих мікроконтролерів, що підтримують нечітку логіку можна назвати 68HC11, 68HC12 фірми Motorola, MCS-96 фірми Intel [32].

4.2.2 Продукційні правила

Продукційні правила (або правила продукції) – це форма представлення знань людини у вигляді речення типу:

<ЯКЩО A , ТО B >,

де A – передумова (посилка чи антецедент);

B – висновок (дія чи консеквент).

Передумову та висновок виражають через факти, якими описують предметну область. Як передумова, так і висновок правила можуть враховувати кілька фактів, об'єднаних логічними зв'язками І, АБО, НІ.

Логічний висновок полягає у використанні правила *modus ponens*: якщо відомо, що істинним є твердження A , та існує правило виду «Якщо A , то B », тоді твердження B також є істинним.

Продукційні правила забезпечують формальний спосіб представлення рекомендацій, вказівок або стратегій. Вони ідеально підходять в тих випадках, коли знання предметної області виникають з емпіричних асоціацій, накопичених за роки роботи по вирішенню завдань у тій чи іншій галузі.

Продукційна модель – це набір продукційних правил, яка, з одного боку, близька до логічних моделей, що дозволяє організувати на ній ефективні процедури виведення, а з іншого боку, більш наочно відображає знання.

Продукційні правила використовуються в системах штучного інтелекту (як приклад, експертні системи), як одна з найпоширеніших форм представлення знань, на ряду з логічними моделями, фреймами та семантичними мережами.

Продукційні правила, передумова (антецедент) та висновок (консеквент) яких виражені нечітко, називаються нечіткими. Структура нечіткого продукційного правила має вигляд:

$$< \text{ЯКЩО } (x \in \tilde{A}), \text{ТО } (y \in \tilde{B}) >,$$

де x та y – лінгвістичні змінні;

\tilde{A} , \tilde{B} – їх значення, яким відповідає лінгвістичний терм з базової терм-множини лінгвістичної змінної.

В даному випадку вираз « $x \in \tilde{A}$ » називають нечіткою передумовою, а вираз « $y \in \tilde{B}$ » – нечітким висновком правила.

Так само як і у класичних продукційних правилах, в нечітких правилах як антецедент та консеквент можуть використовуватися не тільки прості, але і складні логічні нечіткі висловлювання, тобто елементарні нечіткі висловлювання, з'єднані нечіткими логічними зв'язками, такими як нечітке заперечення, нечітка кон'юнкція, нечітка диз'юнкція.

Нечітка продукційна система, окрім стандартних блоків, таких як «База знань», «База даних» та «Система логічного виведення», також має два допоміжних блоки: блок фазифікації, що перетворює чисельні вхідні значення в ступінь відповідності лінгвістичним змінним та блок дефазифікації, перетворює результати виведення в чисельні значення [34].

До переваг представлення знань у вигляді продукційних правил слід віднести наступне:

- модульність (окремі продукційні правила можуть буди додані до бази знань, видалені чи відредаговані незалежно від інших);
- наочність та однаковість структури;
- простота створення та розуміння окремих правил;
- простота механізму логічного виведення.

Слабкими сторонами продукційної моделі є:

- низька ефективність обробки, оскільки більша частина часу витрачається на непродуктивну перевірку можливості застосування всіх правил;
- відсутність гнучкості при логічному виведенні;
- складність оцінки цілісного образу знань з тієї чи іншої предметної області;
- при великій кількості продукційних правил достатньо складно відстежити несуперечливість та повноту бази знань.
- застосування тільки одного формату запису продукцій призводить до громіздких, складних для розуміння виразів в лівій частині (антецеденті) правила і ускладнює його написання і перевірку.

4.2.3 Система нечіткого виведення

Система нечіткого виведення – система логічного виведення, що базується на алгоритмі отримання нечітких висновків на основі нечітких передумов з використанням розглянутих основних понять нечіткої логіки. Процес нечіткого виведення поєднує в собі всі основні концепції теорії нечітких множин: функції належності, лінгвістичні змінні, нечіткі логічні операції, методи нечіткої імплікації і нечіткої композиції. Системи нечіткого виведення дозволяють вирішувати завдання автоматичного керування, класифікації даних, розпізнавання образів, прийняття рішень, машинного навчання та багато інших.

Системи нечіткого виведення призначені для перетворення значень вхідних змінних процесу у вихідні змінні на основі використання нечітких продукційних правил. Для цього системи нечіткого виведення повинні містити базу правил нечітких продукцій і реалізовувати нечітке виведення на основі посилок або умов, представлених у формі нечітких лінгвістичних висловлювань.

Для отримання висновків в системах нечіткого виведення запропоновано декілька алгоритмів, таких як, алгоритми Мамдані, Сугено, Ларсена, Цукамото тощо. Опис цих алгоритмів базується на поділі процесу нечіткого виводу на ряд послідовних етапів, представлених на рисунку 4.2.

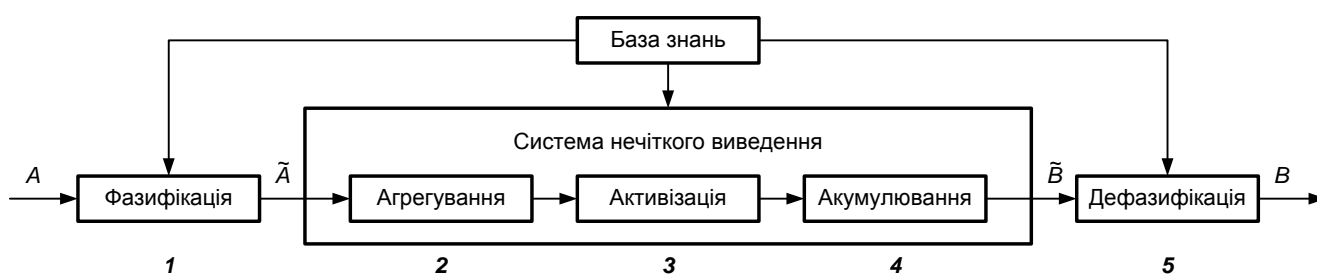


Рисунок 4.2 – Етапи нечіткого виведення [35]

Формування бази знань у вигляді продукційних правил

База правил систем нечіткого виводу призначена для формального подання емпіричних знань або знань експертів в тій чи іншій проблемній області. У системах нечіткого виведення використовуються правила нечітких продукцій, в яких передумови сформульовані в термінах нечітких лінгвістичних висловлювань.

Сукупність таких правил будемо далі називати базою правил нечітких продукцій. База правил нечітких продукцій є кінцева множина правил нечітких продукцій, узгоджених щодо використовуваних в них лінгвістичних змінних. Найбільш часто база правил представляється в формі структурованого тексту:

ПРАВИЛО_1: ЯКЩО «умова_1», ТО «висновок_1» (F_1),

ПРАВИЛО_2: ЯКЩО «умова_2», ТО «висновок_2» (F_2),

...

ПРАВИЛО_n: ЯКЩО «умова_n», ТО «висновок_n» (F_n),

де F_i – вагові коефіцієнти відповідних правил. Ці коефіцієнти можуть приймати значення з інтервалу $[0, 1]$. У разі, якщо ці вагові коефіцієнти відсутні, приймають, що їх значення рівні 1.

У системах нечіткого виведення лінгвістичні змінні, які використовуються в нечітких висловлюваннях передумови правил нечітких продукцій, часто називають вхідними лінгвістичними змінними, а змінні, які використовуються в нечітких висловлюваннях висновків правил нечітких продукцій, часто називають вихідними лінгвістичними змінними.

Фазифікація вхідних змінних

В контексті нечіткої логіки під фазифікацією розуміють не тільки окремий етап виконання нечіткого виведення, а й власне процес або процедуру знаходження значень функцій належності нечітких множин (термів) на основі звичайних (НЕ нечітких) вихідних даних. Фазифікацію ще називають введенням нечіткості.

Метою етапу фазифікації є встановлення відповідності між конкретним (зазвичай чисельним) значенням окремої вхідної змінної системи нечіткого виведення і значенням функції належності відповідного їй терма вхідної лінгвістичної змінної. Після завершення цього етапу для всіх вхідних змінних повинні бути визначені конкретні значення функцій належності по кожному з лінгвістичних термів, які використовуються в передумовах бази правил системи нечіткого виведення.

Агрегування передумов в нечітких продукційних правилах

Агрегування являє собою процедуру визначення ступеня істинності умов по кожному з правил системи нечіткого виведення. Формально процедура агрегування виконується наступним чином.

До початку цього етапу передбачаються відомими значення істинності всіх передумов системи нечіткого виведення, тобто множина значень $\tilde{B} = \{b_i\}$. Далі

розглядається кожна з умов правил системи нечіткого виведення. Якщо ж умова складається з декількох передумов, то визначається ступінь істинності складного висловлювання на основі відомих значень істинності передумов.

При цьому для визначення результату нечіткої кон'юнкції або зв'язки «І» може бути використана одна з формул:

- 1) логічна кон'юнкція:

$$\mu(A \cap B) = \min\{\mu(A), \mu(B)\};$$

- 2) алгебраїчний добуток:

$$\mu(A \cap B) = \max\{\mu(A) \cdot \mu(B)\};$$

- 3) граничний добуток:

$$\mu(A \cap B) = \max\{(\mu(A) + \mu(B)) - 1, 0\};$$

- 4) драстичний добуток:

$$\mu(A \cap B) = \begin{cases} \mu(B), & \text{якщо } \mu(A) = 1, \\ \mu(A), & \text{якщо } \mu(B) = 1, \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases}$$

де $\mu(A), \mu(B)$ – функції належності нечітких висловлювань \tilde{A} та \tilde{B} відповідно.

Для визначення результату нечіткої диз'юнкції або зв'язки «АБО» може бути використана одна з формул:

- 1) логічна диз'юнкція:

$$\mu(A \cup B) = \max\{\mu(A), \mu(B)\};$$

- 2) алгебраїчна сума:

$$\mu(A \cup B) = \mu(A) + \mu(B) - \mu(A) \cdot \mu(B);$$

- 3) гранична сума:

$$\mu(A \cup B) = \min\{(\mu(A) + \mu(B)), 1\};$$

4) драстична сума:

$$\mu(A \cup B) = \begin{cases} \mu(B), & \text{якщо } \mu(A) = 0, \\ \mu(A), & \text{якщо } \mu(B) = 0, \\ 1, & \text{в інших випадках} \end{cases}$$

де $\mu(A), \mu(B)$ – функції належності нечітких висловлювань \tilde{A} та \tilde{B} відповідно.

При цьому значення b_i використовуються як аргументи відповідних логічних операцій. Тим самим знаходяться кількісні значення істинності всіх умов правил системи нечіткого виведення.

Етап агрегування вважається закінченим, коли будуть знайдені всі значення для кожного з правил, що входять в базу правил системи нечіткого виведення.

Активізація або композиція висновків в нечітких продукційних правилах

Активізація в системах нечіткого виведення являє собою процедуру або процес знаходження ступеня істинності кожного з висновків правил нечітких продукцій. Формально процедура активізації виконується наступним чином. До початку цього етапу передбачаються відомими значення істинності всіх передумов системи нечіткого виведення, тобто множина значень та значення вагових коефіцієнтів для кожного правила. Далі розглядається кожне з висновків правил системи нечіткого виведення. Якщо висновок правила є нечітке висловлювання, то ступінь його істинності дорівнює алгебраїчному добутку відповідного значення на ваговий коефіцієнт.

Таким чином, знаходяться всі значення ступенів істинності висновків для кожного з правил, що входять в дану базу правил системи нечіткого виведення. Цю множину значень позначимо через $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$, де q – загальна кількість висновків в базі правил.

Після знаходження множини $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$ визначаються функції належності кожного з висновків для розглянутих вихідних лінгвістичних змінних.

Для цієї мети можна використовувати один з методів, які є модифікацією того чи іншого методу нечіткої композиції:

1) min-активізація:

$$\mu(y) = \min\{c_i, \mu(y)\};$$

2) prod-активізація:

$$\mu(y) = c_i \cdot \mu(y);$$

3) average-активізація:

$$\mu(y) = 0,5 \cdot (c_i + \mu(y)),$$

де $\mu(y)$ – функція належності терму, який є значенням деякої вихідної змінної, заданої на універсамі Y .

Етап активізації вважається закінченим, коли для кожної з вихідних лінгвістичних змінних, що входять в окремі висновки правил нечітких продукцій, будуть визначені функції належності нечітких множин їх значень, тобто сукупність нечітких множин: $C' = \{c'_1, c'_2, \dots, c'_q\}$, де q – загальна кількість висновків в базі правил системи нечіткого виведення.

Акумулювання висновків нечітких продукційних правил

Акумуляція або акумулювання в системах нечіткого виведення являє собою процедуру або процес знаходження функції належності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних множини.

Мета акумуляції полягає в тому, щоб об'єднати або акумулювати всі ступені істинності висновків для отримання функції належності кожної з вихідних змінних. Причина необхідності виконання цього етапу полягає в тому, що висновки, що відносяться до однієї і тієї ж вихідної лінгвістичної змінної, належать різним правилам системи нечіткого виведення. Формально процедура акумуляції виконується наступним чином.

До початку цього етапу передбачаються відомими значення істинності всіх висновків для кожного з правил, що входять в дану базу правил системи нечіткого виведення, в формі сукупності нечітких множин: C_1, C_2, \dots, C_q , де q – загальна

кількість висновків в базі правил. Далі послідовно розглядається кожна з вихідних лінгвістичних змінних і пов'язані з нею нечіткі множини. Результат акумуляції для вихідної лінгвістичної змінної визначається як об'єднання нечітких множин за однією з формул:

1) логічна диз'юнкція:

$$\mu(A \cup B) = \max\{\mu(A), \mu(B)\};$$

2) алгебраїчна сума:

$$\mu(A \cup B) = \mu(A) + \mu(B) - \mu(A) \cdot \mu(B);$$

3) гранична сума:

$$\mu(A \cup B) = \min\{\mu(A) + \mu(B), 1\};$$

де $\mu(A)$, $\mu(B)$ – функції належності нечітких висловлювань \tilde{A} та \tilde{B} відповідно.

Етап акумуляції вважається закінченим, коли для кожної з вихідних лінгвістичних змінних будуть визначені підсумкові функції належності нечітких множин їх значень, тобто сукупність нечітких множин: C'_1, C'_2, \dots, C'_s , де s – загальна кількість вихідних лінгвістичних змінних в базі правил системи нечіткого виведення.

Дефазифікація вихідної змінної

Дефазифікація в системах нечіткого виведення являє собою процедуру або процес знаходження звичайного (НЕ нечіткого) значення для кожної з вихідних лінгвістичних змінних. Мета дефазифікації полягає в тому, щоб, використовуючи результати акумуляції всіх вихідних лінгвістичних змінних, отримати звичайне кількісне значення кожної з вихідних змінних, яке може бути використане спеціальними пристроями, які не належать до системи нечіткого виведення.

Розглянуті вище етапи нечіткого виводу можуть бути реалізовані неоднозначним чином, оскільки включають в себе окремі параметри, які повинні бути фіксовані або специфіковані. Тим самим вибір конкретних варіантів параметрів

кожного з етапів визначає алгоритм, який в повному обсязі реалізує нечіткий висновок в системах правил нечітких продукцій. До теперішнього часу запропоновано кілька алгоритмів нечіткого виведення. До алгоритмів, які отримали найбільше застосування в системах нечіткого виведення, відносяться алгоритми Мамдані (Mamdani), Сугено (Sugeno), Ларсена (Larsen), Цукамото (Tsukamoto) [35].

4.2.4 Нечітка логіка в Matlab

Fuzzy logic toolbox – вбудована в Matlab сукупність функцій, що містить набір засобів, які дозволяють:

- створювати і редагувати нечіткі системи всередині середовища Matlab;
- вбудовувати нечітку підсистему в SimuLink (поставляється з Matlab) при моделюванні загальної системи;
- побудувати нечітку систему в Matlab у вигляді процедури, що викликається з програми, яка написана на мові C.

Даний набір інструментів забезпечує три категорії інструментальних засобів програмування нечітких систем:

- функції командного рядка (command line functions);
- графічний інтерактивний інтерфейс;
- використання вбудованих блоків SimuLink.

Перша категорія – готові функції, які можна викликати відразу з командного рядка Matlab. Практично усі вони являють собою m-файли, що містять послідовність виразів, що виконують спеціалізований нечіткий алгоритм. Крім того, Matlab дозволяє їх модифікувати шляхом копіювання і перейменування відповідного файлу та наступного його редагування. Таким чином, нечіткий набір інструментів можна розширити власними функціями.

Друга категорія дозволяє отримати доступ до тих самих функцій через графічний інтерфейс користувача, за допомогою якого набагато зручніше конструювати й аналізувати нечіткі системи.

Третя категорія – моделювання в середовищі SimuLink. Можна додати до системи нечіткий контролері відразу отримати результати моделювання.

У Matlab є багато вбудованих функцій приналежності, зокрема:

- сигмоїдальна;
- двостороння сигмоїдальна;
- гаусова;
- дзвоноподібна;
- S-функція приналежності;
- Z-функція приналежності;
- трапецієподібна;
- трикутна та ін.

Усі дії над нечіткими значеннями задаються мінімальним набором функцій і відбуваються всередині програми. Таким чином, користувачу необов'язково вивчати усі тонкощі теорії нечітких множин, достатньо лише визначити усі вхідні і вихідні змінні і задати таблицю правил, а решту роботи робить Matlab. Дефазифікація виконується в один з п'ятих методів, зазначених розробником. Крім того, можна вивести на екран відповідно до введених правил результуючі поверхні керування в залежності від комбінації входів, схему отриманої нечіткої програми.

4.3 Постановка задачі

Задача гнучкого керування світлофорною сигналізацією для двофазного світлофора зводиться до пошуку функціонального відображення виду:

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\} \rightarrow Y \in \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5\}, \quad (4.1)$$

де X – вектор факторів, що відображає стан регульованого перехрестя,

Y – результат нечіткого висновку, тривалість першої фази (головний напрям) в циклі.

Фактори, які впливають на завантаженість перехрестя, що регулюється світлофором:

x_1 – щільність потоку на головному напрямку, авт./км;

x_2 – інтенсивність руху на головному напрямку, авт./год;

x_3 – щільність потоку на другорядному напрямку, авт./км;

x_4 – інтенсивність руху на другорядному напрямку, авт./год;

4.4 Практичне дослідження транспортного потоку

Для визначення діапазону виміру щільності потоку та інтенсивності руху необхідно провести дослідження транспортного потоку. Також це допоможе визначитись з необхідною кількістю терм-множин для кожної змінної.

Значення щільності q_a і швидкості v_a транспортного потоку, коли інтенсивність N_a досягає максимального значення вважаються оптимальними по пропускній здатності. Під пропускною здатністю дороги P_a розуміють максимально можливе число транспортних засобів, яке може пройти через перетин дороги за одиницю часу.

Величина пропускної здатності дороги визначається великим числом факторів, що характеризують комплекс «водій - автомобіль - дорога - середовище» і мають безпосередній вплив на транспортний потік.

При оцінці максимально можливого числа автомобілів необхідно передбачити умови безпечного руху. Ці умови залежать головним чином від дистанції між рухомими автомобілями [7].

Вибір безпечної дистанції залежить від таких понять як гальмовий шлях і зупиночний шлях.

Гальмовий шлях – це відстань, що проходить транспортний засіб під час екстреного гальмування з початку здійснення впливу на механізм керування гальмовою системою (педаць, рукоятку) до місця його зупинки. [37]

Гальмовий шлях автомобіля залежить від:

– ефективності гальмівних пристроїв;

- тривалості спрацювання привода гальм;
- швидкості руху;
- завантаженості автомобіля;
- шин, їх якості та стану (наприклад, з шипами, нові, із зношеним протектором), тиску в них;
- наявності систем безпеки;
- дорожнього покриття (наприклад, гравій, ґрунтовка, асфальт, бетон);
- погоди і, як наслідок, стану дороги.

Гальмовий шлях виводиться (грубо) із другого закону Ньютона та рівняння руху при постійному прискоренні і розраховується за формулою [38]:

$$S_{\Gamma} = \frac{v_a^2}{2\mu g} \quad (4.2)$$

де v_a – швидкість автомобіля до початку гальмування, м/с;

μ – коефіцієнт тертя (таблиця 4.2);

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Таблиця 4.1 – Коефіцієнт тертя для різного стану дороги [39]

Стан дороги	Зчеплення шин з асфальтом (середнє значення)
Суха	0,7
Мокра	0,4
Сніг	0,2
Ожеледь	0,1

Зупиночний шлях – це відстань, яку проїде транспортний засіб від моменту виявлення надзвичайної ситуації (перешкоди) водієм до зупинки автомобіля. Тобто це сума гальмового шляху і відстані, що проїде автомобіль за час, поки людина реагувала на небезпеку [40].

Зупиночний шлях розраховується за формулою:

$$S_3 = S_p + S_r, \quad (4.3)$$

де S_p – відстань, яку проїде автомобіль за час реакції водія;

S_r – гальмовий шлях.

Середній час реакції складає від 0,5 до 1,5 с. [41] Час реакції залежить від професійних якостей, досвіду водіння, психофізичного стану водія. Для розрахунків прийнято брати значення 1 с.

Отже, можна розрахувати відстань S_p залежно від швидкості руху. Результати подано у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Відстань, яку проїде автомобіль за час реакції водія

v_a , км/год	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
S_p , м	1,39	2,78	5,56	8,33	11,11	13,89	16,67	19,44	22,22	25	27,78

За формулами 4.2 та 4.3 розраховано гальмовий шлях S_r та зупиночний шлях S_3 для швидкостей v_a від 5 до 100 км/год.

Щільність транспортного потоку з урахуванням безпечної дистанції для відповідної швидкості руху можна розрахувати за формулою:

$$q_a = 1000 / (L + S_3), \quad (4.4)$$

де L – довжина транспортного засобу.

Оскільки розглядається транспортний потік у місті, то переважна більшість його складається з легкових автомобілів. Довжина легкових автомобілів становить від 3,5 до 5,5 м. Для розрахунку прийнято $L = 5$ м.

Інтенсивність, щільність та швидкість зв'язані співвідношенням:

$$N_a = v_a \cdot q_a. \quad (4.5)$$

За формулами 4.4 та 4.5 розраховано щільність потоку q_a та інтенсивність руху N_a для швидкостей v_a від 5 до 100 км/год.

Результати розрахунків для сухої дороги з асфальтовим покриттям подано в таблиці 4.3. Результати розрахунків для мокрої дороги з асфальтовим покриттям подано в таблиці 4.4.

Таблиця 4.3 – Розрахункові показники для сухої дороги з асфальтовим покриттям

v_a , км/год	S_r , м	S_z , м (округ.)	q_a , авт./км	N_a , авт./год
5	0,14	2	143	715
10	0,56	3	125	1250
20	2,25	8	77	1540
30	5,06	13	56	1680
40	9	20	40	1600
50	14,06	28	30	1500
60	20,25	37	24	1440
70	27,54	47	19	1330
80	35,99	58	16	1280
90	45,55	71	13	1170
100	56,25	84	11	1100

Таблиця 4.4 – Розрахункові показники для мокрої дороги з асфальтовим покриттям

v_a , км/год	S_z , м	S_z , м (округ.)	q_a , авт./км	N_a , авт./год
5	0,25	2	143	715
10	0,99	4	111	1110
20	3,94	10	67	1340
30	8,85	17	45	1350
40	15,74	27	31	1240
50	24,61	39	23	1150
60	35,45	52	18	1080
70	48,2	68	14	980
80	62,98	85	11	880

Продовження таблиці 4.4

90	79,72	105	9	810
100	98,43	126	8	800

Приймаючи до уваги те, що більшість водіїв не дотримується безпечних дистанцій, було проведено натурне дослідження транспортного потоку в місті Києві на відносно довгих ділянках дороги без перехресть для встановлення реальних дистанцій d . Спостереження проводились по вул. Велика Окружна на ділянці від вул. Зодчих до пр. Перемоги, по вул. Борщагівська, по пр. Перемоги на ділянці від вул. В. Чорновола до вул. В. Гетьмана і по пр. М. Бажана.

Результати спостережень внесено до таблиць та проведено розрахунки щільності потоку q_a та інтенсивності руху N_a для швидкостей v_a від 5 до 100 км/год для сухої (таблиця 4.5) і мокрої (таблиця 4.6) дороги з асфальтовим покриттям.

Таблиця 4.5 – Показники щільності потоку та інтенсивності руху відповідно до реальної дистанції для сухої дороги з асфальтовим покриттям

v_a , км/год	d , м	q_a , авт./км	N_a , авт./год
5	1	167	835
10	2	143	1430
20	4	111	2220
30	7	83	2490
40	10	67	2680
50	14	53	2650
60	18	43	2580
70	23	36	2520
80	29	29	2320
90	35	25	2250
100	42	21	2100

Таблиця 4.6 – Показники щільності потоку та інтенсивності руху відповідно до реальної дистанції для мокрої дороги з асфальтовим покриттям

v_a , км/год	d , м	q_a , авт./км	N_a , авт./год
5	1	167	835
10	2	143	1430
20	5	100	2000
30	9	71	2130
40	13	56	2240
50	19	42	2100
60	26	32	1920
70	34	26	1820
80	43	21	1680
90	52	18	1620
100	63	15	1500

За розрахунками, які наведено в таблицях 4.3-4.6 побудовано графіки діаграми транспортного потоку (рисунок 4.3).

За графіками можна виділити діапазони визначення:

- щільності потоку, що складає 0 – 170 авт./км;
- інтенсивності руху, що складає 750 – 2750 авт./год.

На діаграмі транспортного потоку можна виокремити три робочі області, які відповідають транспортним ситуаціям:

- вільний рух, максимально допустимі швидкості – весь діапазон визначення інтенсивності руху при низькій щільності потоку;
- зв'язаний потік, максимальна пропускна здатність – високі показники інтенсивності руху, середній діапазон щільності потоку;
- нестійкий потік, формування затору – низькі показники інтенсивності руху при високій щільності потоку.

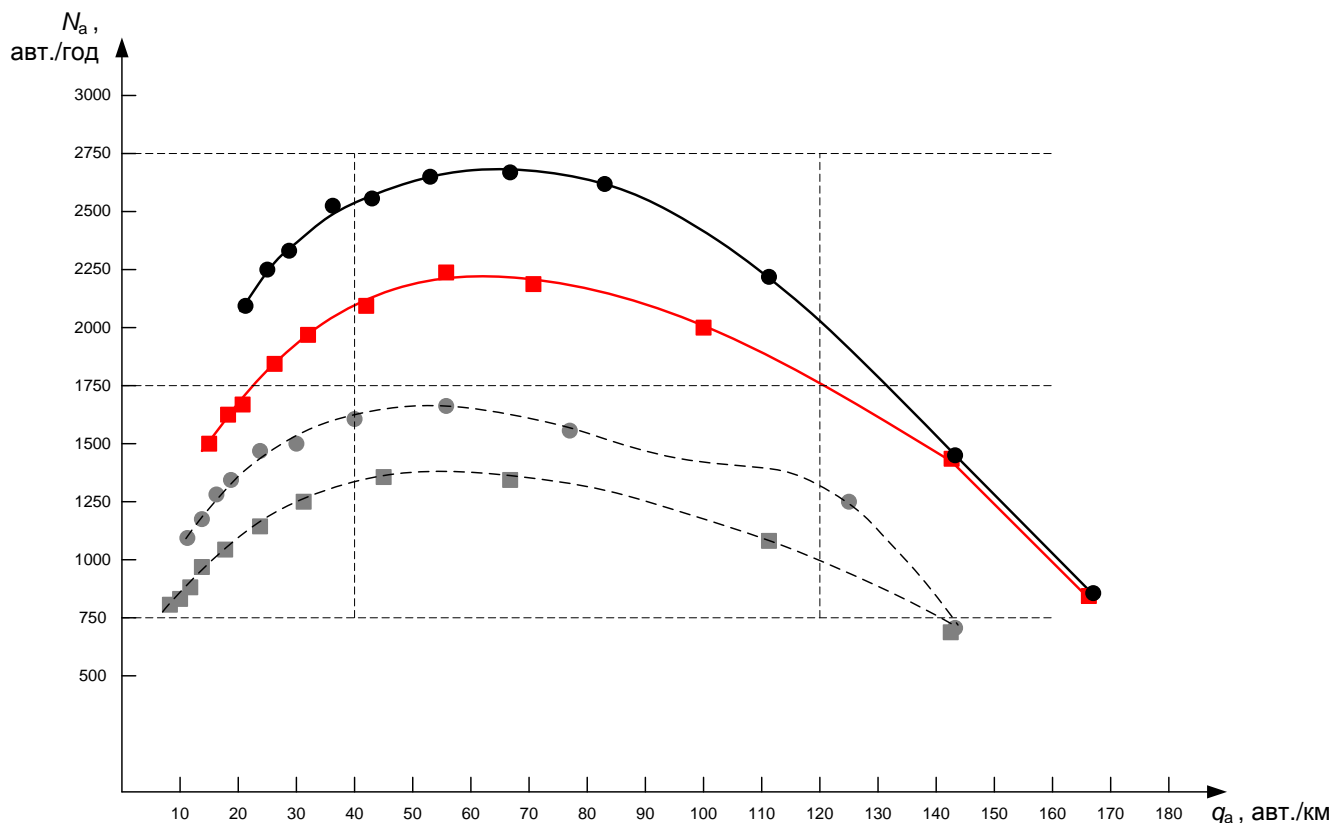


Рисунок 4.3 – Практичні дослідження діаграми транспортного потоку

4.5 Нечітка модель

Нечітка модель представляє собою апроксимацію залежності «входи – вихід» на основі лінгвістичних висловлювань типу «якщо – то» і операцій нечіткого логічного висновку [42].

Для нечіткого моделювання залежності (4.1) необхідно:

- представити вхідні (x_1, x_2, x_3, x_4) змінні у вигляді лінгвістичних змінних;
- формалізувати у вигляді нечіткої бази знань експертні лінгвістичні висловлювання про взаємозв'язок входів і виходу.

Систему нечіткого виведення для гнучкого керування світлофорною сигналізацією реалізовано алгоритмом Сугено нульового порядку, оскільки вихідна змінна (тривалість першої фази циклу) приймає чіткі числові значення: 20, 25, 30, 35, 40 секунд. Друга фаза розраховується з загальної тривалості циклу для

двофазного світлофора, яка становить 60 с. Перша фаза закріплена за головною дорогою, друга – за другорядною.

4.6 Лінгвістичні змінні

Для лінгвістичної оцінки вхідних змінних використовуються терм-множини, які наведено в таблиці 4.7.

Формалізацію лінгвістичних термів здійснено за допомогою гаусової функції належності:

$$\mu^t(x) = e^{\frac{-(x-b)^2}{2c^2}}, \quad (4.6)$$

де $\mu^t(x)$ – функція належності змінної x до терму t ;

b – параметр функції належності, відповідний координаті максимуму ($\mu^t(x) = 1$);

c – параметр стиснення-розтягнення функції належності [36, 42].

Параметри функцій належності для кожного лінгвістичного терма наведені в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Терм-множини вхідних змінних

Змінна	Терм-множина	Параметри функції належності	
		c	b
	Низька (L)	33,97	0
	Середня (A)	33,97	80
	Висока (H)	33,97	160
	Низька (L)	849,3	750
	Висока (H)	849,3	2750
	Низька (L)	33,97	0
	Середня (A)	33,97	80
	Висока (H)	33,97	160

Продовження таблиці 4.7

$x_4 (N_{2-4})$	Низька (L)	849,3	750
	Висока (H)	849,3	2750

Примітка: c – параметр стиснення-розтягнення; b – координата максимуму.

4.7 Нечітка база знань

Експертні лінгвістичні висловлювання, що відображають взаємозв'язок між факторами x_1 , x_2 , x_3 , x_4 і тривалістю першої фази циклу світлофора y , представлені в таблиці 4.2. Кожен рядок таблиці відповідає одному правилу.

Таблиця 4.8 – Нечітка база знань

№	x_1	x_2	x_3	x_4	y
1	Низька	Низька	Низька	Низька	30(30)
2	Низька	Низька	Низька	Висока	30(30)
3	Низька	Низька	Середня	Висока	25(35)
4	Низька	Низька	Висока	Низька	20(40)
5	Низька	Висока	Низька	Низька	30(30)
6	Низька	Висока	Низька	Висока	30(30)
7	Низька	Висока	Середня	Висока	25(35)
8	Низька	Висока	Висока	Низька	20(40)
9	Середня	Висока	Низька	Низька	35(25)
10	Середня	Висока	Низька	Висока	35(25)
11	Середня	Висока	Середня	Висока	30(30)
12	Середня	Висока	Висока	Низька	25(35)
13	Висока	Низька	Низька	Низька	40(20)
14	Висока	Низька	Низька	Висока	40(20)
15	Висока	Низька	Середня	Висока	35(25)
16	Висока	Низька	Висока	Низька	30(30)

Відповідно до [43] синтез нечіткої бази знань може трактуватися як етап структурної ідентифікації залежності (4.1) по експертно-експериментальним даним.

4.8 Алгоритм нечіткого виведення Сугено

Алгоритм Сугено, запропонований Сугено та Такагі, може бути визначений таким чином:

1. У базі правил використовуються тільки правила нечітких продукцій в формі:

ПРАВИЛО <1>: ЯКЩО $(x \in A_1 \text{ I } y \in B_1)$, ТО, $z_1 = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$,

ПРАВИЛО <2>: ЯКЩО $(x \in A_2 \text{ I } y \in B_2)$, ТО, $z_2 = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$,

де x, y – вхідні змінні;

A_i, B_i – чисельні значення вхідних параметрів;

$z_1 = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – довільна чітка функція.

Якщо як опція f використовується поліном $f(x) = C$, то алгоритм Сугено 0-порядку. Тоді правила будуть мати наступний вигляд:

ПРАВИЛО <1>: ЯКЩО $(x \in A_1 \text{ I } y \in B_1)$, ТО, $z_1 = C_1$,

ПРАВИЛО <2>: ЯКЩО $(x \in A_2 \text{ I } y \in B_2)$, ТО, $z_2 = C_2$,

де C_1, C_2 – звичайні (чіткі) числа.

2. Фазифікація вхідних змінних. На цьому етапі всім відомим конкретним значенням вхідних змінних системи нечіткого виведення ставиться у відповідність нечітку множину, тобто множин значень A_1, A_2, B_1, B_2 .

3. Агрегування передумови в нечітких правилах продукцій. Для знаходження ступеня істинності умов всіх правил нечітких продукцій використовується операція *min* – логічна кон'юнкція. Ті правила, ступінь істинності умов яких відмінна від нуля, вважаються активними і використовуються для подальших розрахунків.

4. Активізація висновків в нечітких правилах продукцій. Для заданого (чіткого) значення аргументу $x = x_0$, $y = y_0$ знаходяться ступені істинності для передумов кожного правила. Далі знаходяться значення ступенів істинності всіх висновків правил нечітких продукцій з використанням методу *prod*-активізації.

5. Акумуляція висновків нечітких правил продукцій. Фактично відсутня, оскільки розрахунки здійснюються із звичайними дійсними числами y_j .

6. Дефазифікація вихідних змінних. Використовується модифікований варіант у формі методу центру тяжіння для одноточкових множин:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot C_i)}{\sum_{i=1}^n (\alpha_i)}$$

де n – загальна кількість активних правил нечітких продукцій;

α_i – ступень істинності висновків правил;

C_i – висновок правила, *const*.

4.9 Тестування моделі

Побудова моделі виконана з використанням інструментів Fuzzy Logic Toolbox.

Базовим поняттям Fuzzy Logic Toolbox є FIS-структура – система нечіткого виведення (Fuzzy Inference System). FIS-структура містить всі необхідні дані для реалізації функціонального відображення «входи-виходи» на основі нечіткого логічного виведення згідно зі схемою, що наведено на рисунку 4.2.

Систему нечіткого логічного виведення представлено на рисунку 4.4.

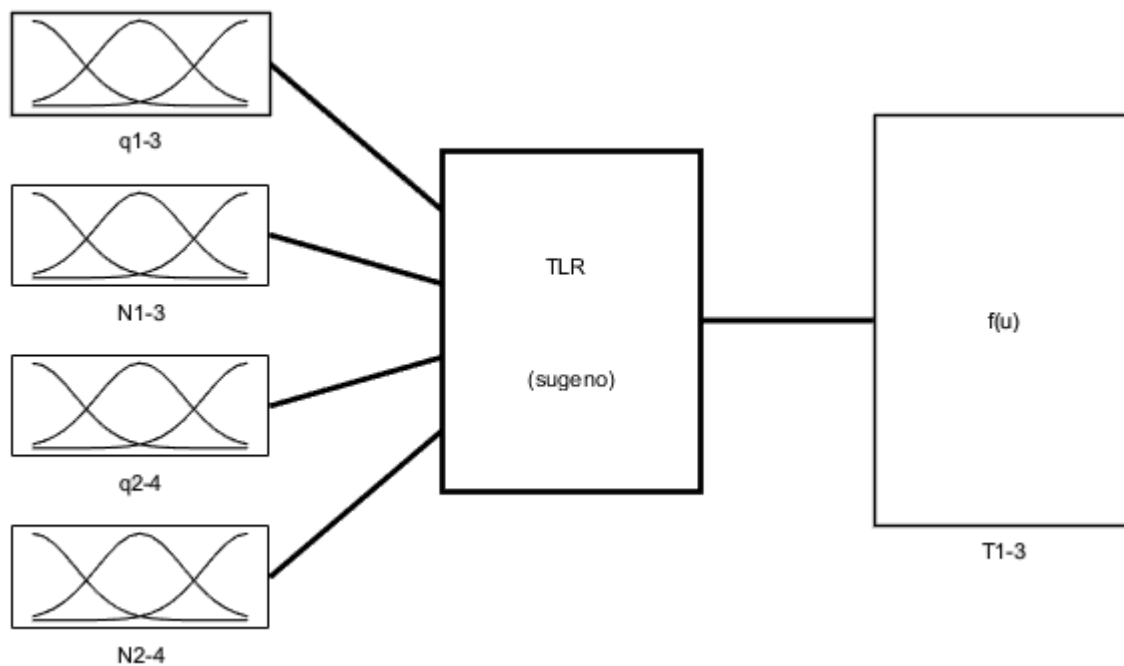


Рисунок 4.4 FIS-структура системи

З таблиці 4.1 маємо такі функції належності для вхідних змінних (рисунок 4.7, 4.8):

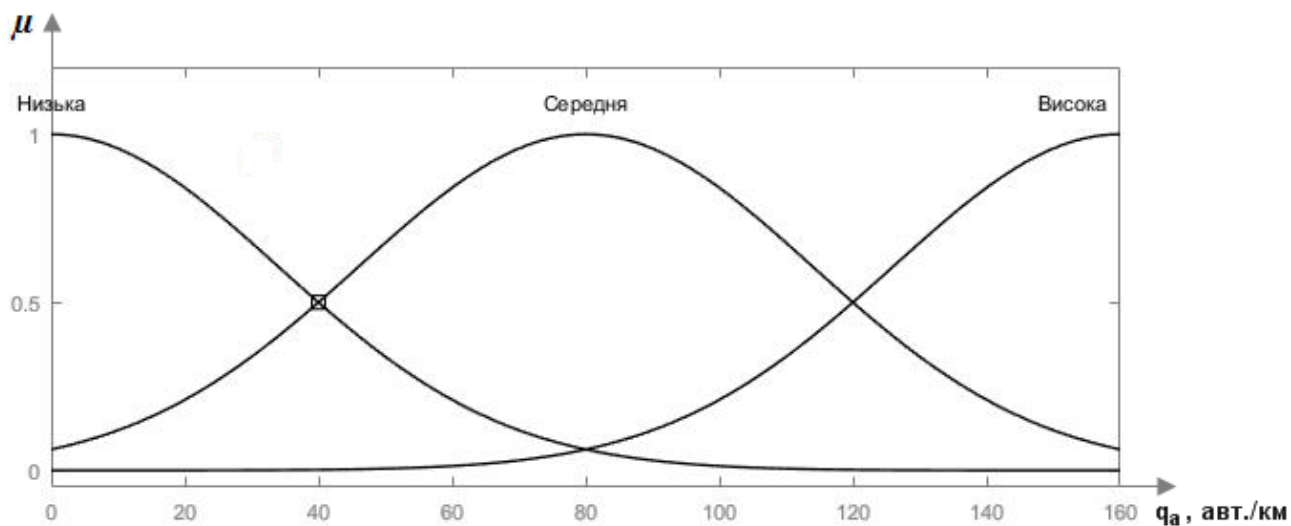


Рисунок 4.5 – Функції належності для вхідної змінної «Щільність потоку»

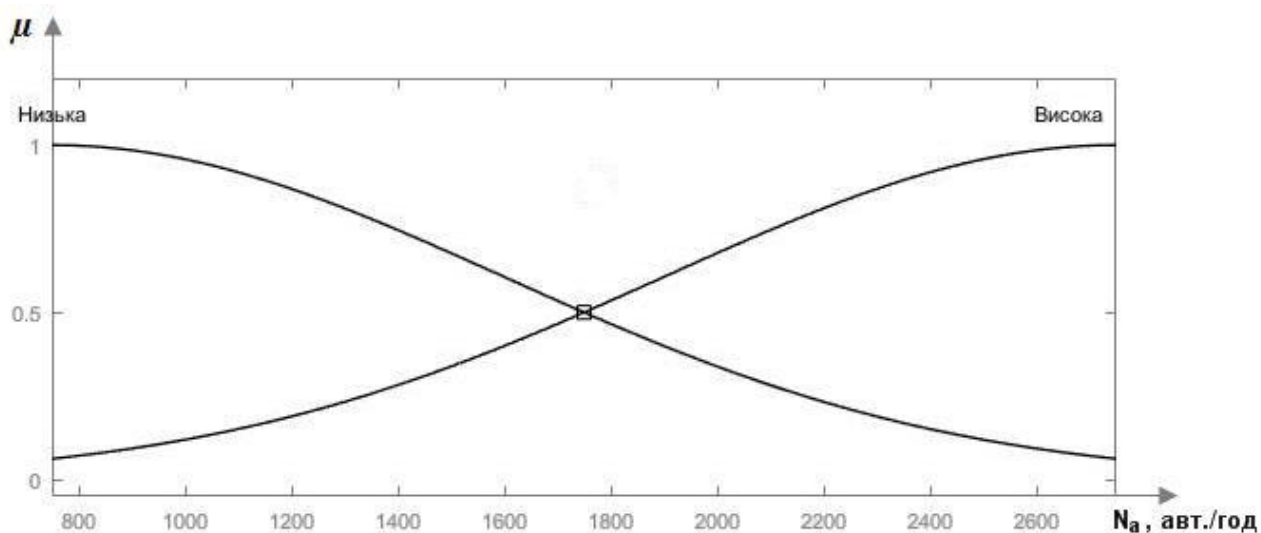


Рисунок 4.6 – Функції належності для вхідної змінної «Інтенсивність»

40(20)
35(25)
30(30)
25(35)
20(40)

Рисунок 4.7 – Значення для вихідної змінної «Тривалість першої фази в циклі»

База знань в FIS-структурі Fuzzy Logic Toolbox повністю відповідає таблиці 4.8 і введена шляхом вибору відповідних комбінації термів в редакторі бази знань.

На рисунках 4.8, 4.9 наведено процес нечіткого логічного висновку для деяких значень вхідних змінних.

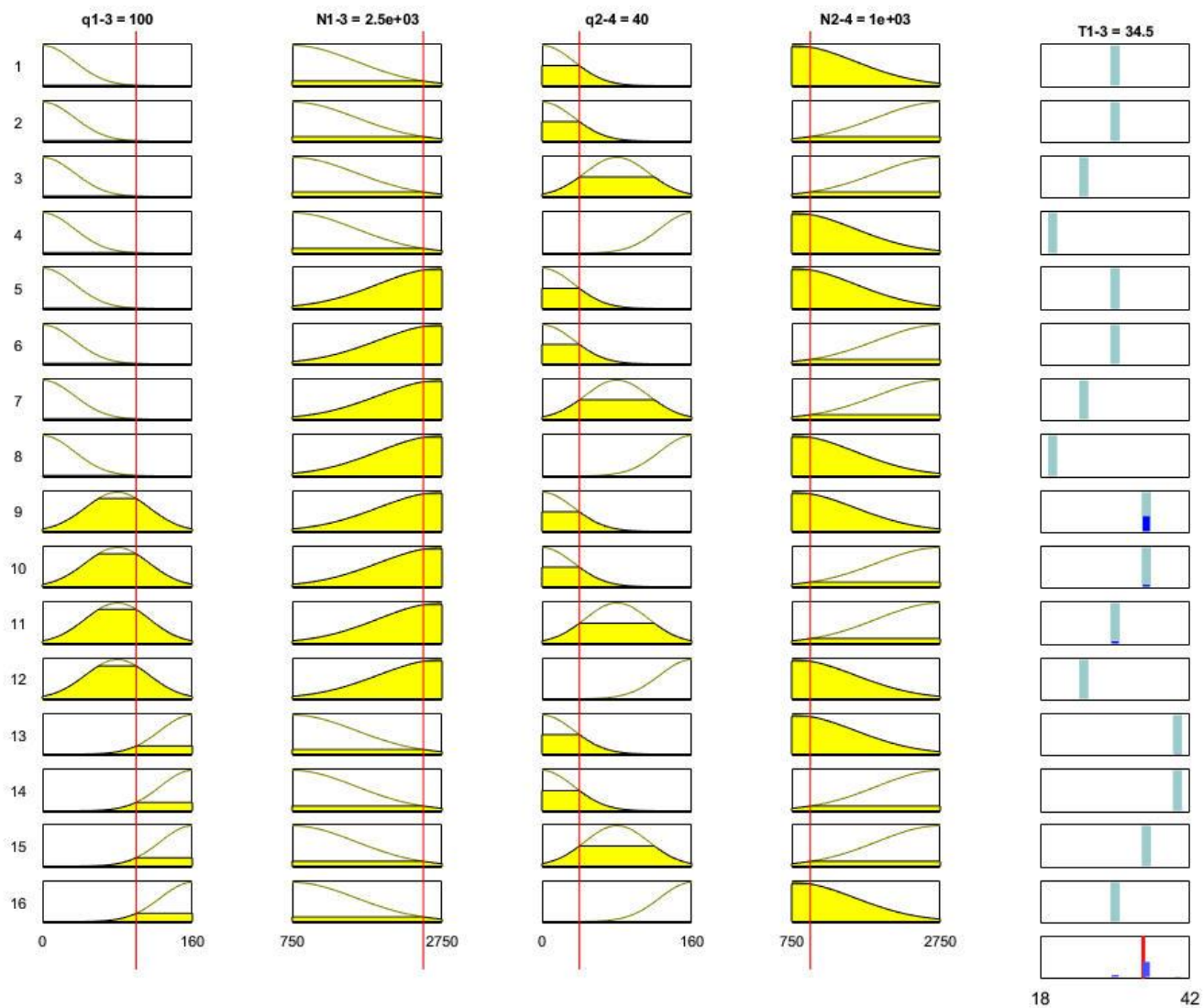


Рисунок 4.8 – Процес нечіткого логічного виведення

для $q_{1-3} = 100$, $N_{1-3} = 2500$; $q_{2-4} = 40$, $N_{2-4} = 1000$

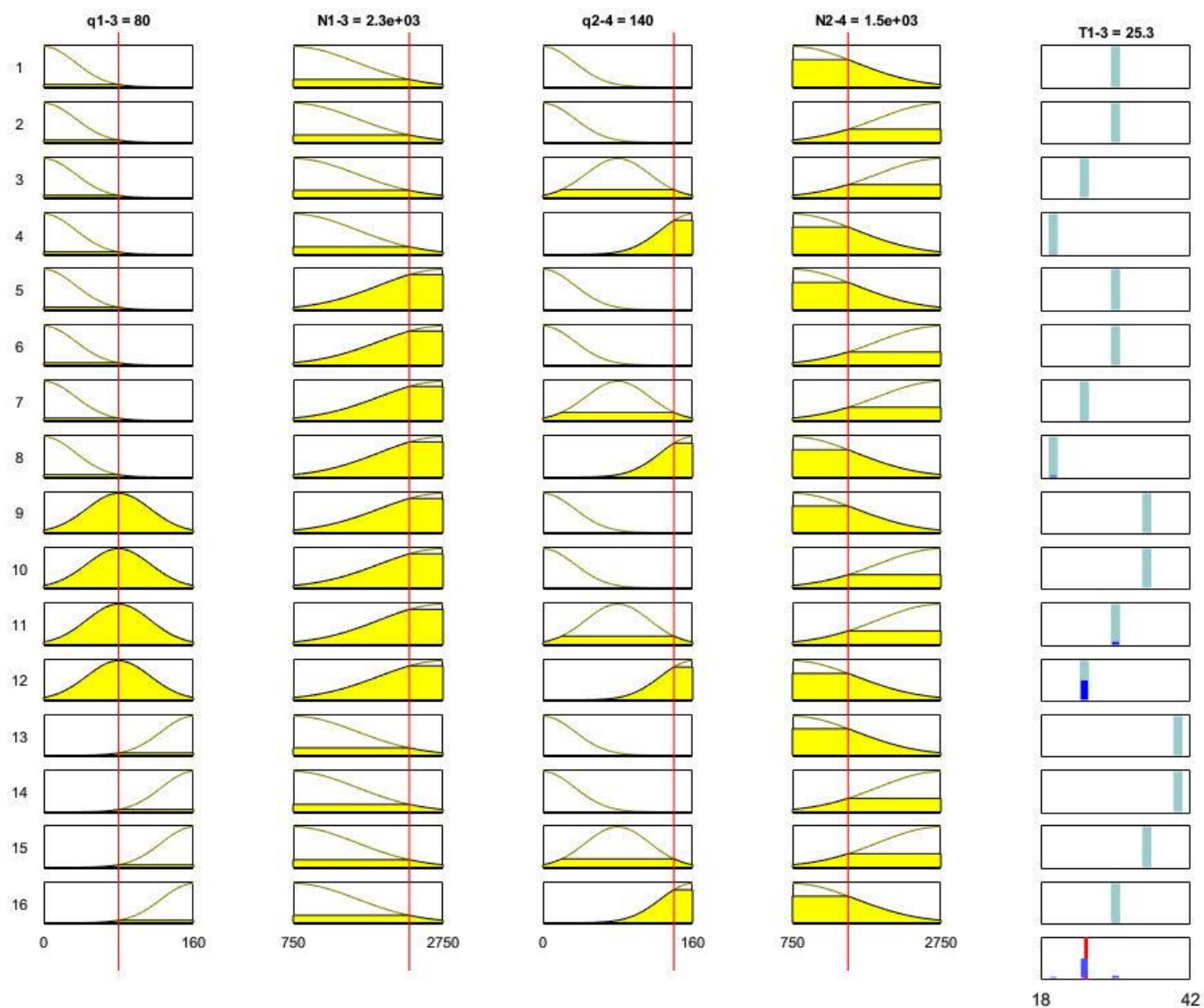


Рисунок 4.9 – Процес нечіткого логічного виведення

для $q_{1-3} = 80$, $N_{1-3} = 2300$; $q_{2-4} = 140$, $N_{2-4} = 1500$

4.10 Алгоритмічне забезпечення підсистеми світлофорного регулювання

Алгоритм програми блоку керування світлофорною сигналізацією (БКСС) працює наступним чином. При ввімкненні БКСС відбувається його початкова ініціалізація, що включає в себе запуск програмного забезпечення блоку керування, встановлення зв'язку з районним операційним центром (РОЦ).

Після ініціалізації БКСС запускається робочий цикл програми, на початку якого іде ряд перевірок у порядку пріоритету для визначення подальшого режиму роботи. Першою іде перевірка справності роботи світлофорів на регульованому перехресті. Блок керування забезпечує перехід в режим аварійного відключення світлофорів при появі зелених сигналів на конфліктних напрямках, контроль червоних сигналів світлофорів. До РОЦ передається інформація про виникнення режиму «Аварія» на контрольованому перехресті.

Якщо світлофори працюють справно, відбувається перевірка на ввімкнення ручного режиму керування світлофорними об'єктами. За допомогою панелі ручного керування можна ввімкнути, або вимкнути світлофорний об'єкт, перезавантажити його в разі збою програми, перевести світлофорний об'єкт в режим «жовтого миготливого», або ввімкнути окремі напрямки руху. Для виходу з ручного режиму керування треба ввімкнути перемикач «Автоматичний режим» на панелі ручного керування.

Наступним іде перевірка на керування світлофорним об'єктом диспетчером з РОЦ. Якщо з диспетчерського пульта задано цикл регулювання, виконується перевірка, чи поточне налаштування ($P_{\text{поточ}}$) не дорівнює циклу регулювання, що визначено диспетчером ($P_{\text{визн}}$). Якщо ці налаштування відрізняються, змінюємо цикл регулювання на новий і фіксуємо час зміни ($T_{\text{фікс}}$), інакше – повертаємося на початок робочого циклу алгоритму.

Далі по пріоритету перевіряється встановлення режиму гнучкого керування регулюванням перехрестя – визначення циклу регулювання за допомогою нечіткої логіки. На його початку визначається поточний час ($T_{\text{поточ}}$). Нові параметри роботи світлофорного об'єкту при гнучкому регулюванні встановлюються не частіше ніж

кожні 15 хвилин ($T_{\text{поточ}} - T_{\text{фікс}} > 15 \text{ хв}$). Якщо з часу останніх змін у регулюванні пройшло 15 хвилин, відбувається запит даних з блока обробки інформації підсистеми реєстрації дорожнього руху (БОІ ПРДР) та отримання даних, щодо щільності потоків (q_{1-3}, q_{2-4}) і інтенсивності руху (N_{1-3}, N_{2-4}) з різних напрямків. На основі отриманої інформації відбувається обчислення тривалості фаз ($Y_{\text{обч}}$) за нечітким алгоритмом. Якщо отримані при обчисленні дані відрізняються від встановлених на даний момент ($Y_{\text{поточ}}$), змінюємо відповідно цикл регулювання світлофорів та скидаємо часовий лічильник зміни цикл регулювання ($T_{\text{фікс}}$), інакше повертаємося на початок робочого циклу програми.

Якщо гнучке керування світлофорами не задано, далі перевіряється встановлення режиму програмного керування. Він полягає у встановленні фіксованих параметрів циклу регулювання світлофорного об'єкту. При цьому іде зчитування та перевірка часових даних, метеоданих. На основі цієї інформації визначається цикл регулювання $P_{\text{визн}}$ (для багатопрограмного режиму). Якщо $P_{\text{поточ}}$ не дорівнює $P_{\text{визн}}$, змінюємо режим регулювання і фіксуємо час зміни ($T_{\text{фікс}}$), інакше – повертаємося на початок робочого циклу.

Якщо програмне керування не встановлено, до РОЦ передається статус «Аварія», а світлофори вимикаються для забезпечення безпеки руху до моменту, як роботу світлофорного об'єкта буде налагоджено.

4.11 Висновки

Проведено аналіз сучасних досліджень в області світлофорного регулювання. Оскільки визнана актуальність розробки гнучкого керування світлофорною сигналізацією, найбільшої увагу заслуговують методи з використанням нечіткої логіки та нейронних мереж.

До переваг нечіткого логічного виведення відноситься можливість проведення швидкого моделювання складних динамічних систем і їхній порівняльний аналіз із заданим ступенем точності – оперуючи принципами поведінки системи, описаними нечіткими методами.

Суттєвим достоїнством нечітких моделей, в порівнянні з моделями, які побудовані за допомогою нейронних мереж, є простота і прозорість інтерпретації залежностей досліджуваної системи з можливістю змістовного пояснення прийнятого рішення.

Описано математичний апарат нечіткого логічного висновку, якій застосовано під час моделювання підсистеми світлофорного регулювання. Експертні дані, що застосовані при моделюванні, отримані шляхом дослідження транспортного потоку в м. Києві та аналізу даних.

Розроблено алгоритм роботи блоку керування світлофорною сигналізацією, який описує поведінку світлофорного об'єкта в різних режимах керування.

5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї проекту

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
	1. Управління транспортними засобами в місті	1. Забезпечення безпеки руху 2. Контроль за транспортною ситуацією в місті 3. Керування транспортними потоками 4. Забезпечення проїзду маршрутних ТЗ 5. Реагування на затори, ДТП та ін.
	2. Світлофорне регулювання перехресть	1. Забезпечення безпеки руху 2. Організація роз'їзду конфліктних напрямків 3. Організація пішохідного руху 4. Гнучке регулювання тривалості фаз в залежності від транспортної ситуації 5. Зменшення часу очікування на перехресті

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характерист ики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слаб ка стор она)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конку- рент1 «SEA»	Конку- рент2 «Росток- Елеком»			
1.	Режими керування	Локальне; координов ане; гнучке; в складі АСКДР	Локальн е; координ оване; в складі АСКДР	Локальн е; координ оване; гнучке; в складі АСКДР		Як у конкурентів	
2.	Інтерфейси	RS-485; Ethernet	RS-485; Ethernet	RS-232; RS-485; Ethernet		Достатня для даної галузі застосуванн я	
3.	Канали зв'язку	виділений провідний, стільников ий зв'язок, оптоволоко но	виділен ий провідн ий, стільник овий зв'язок, оптоволо кно	виділен ий провідн ий, телефон ний, стільник овий зв'язок		Як у основного конкурента	

4.	Стандарти зв'язку	GSM, GPRS, TCP/IP, LAN	GSM, GPRS, TCP/IP, LAN	GSM, GPRS, TCP/IP, LAN		Як у конкурентів	
5.	Гнучке керування	З використанням нечіткої логіки	Метод розрахунку тривалості фаз за формулою Вебстера	Метод прогнозу прибуття			Найбільше підходить для даної галузі; простота реалізації
6.	Моніторинг параметрів транспортних потоків	Детектори транспорту; відеоспостереження	Детектори транспорту; відеоспостереження	Детектори транспорту		Як у основного конкурента	

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.		Метод пошуку розриву	+	+
2.		Метод роз'їзду черги	+	+

3.	світлофорною сигналізацією	Метод розрахунку тривалості фаз за формулою Вебстера	+	+
4.		Метод розрахунку тривалості фаз з використанням нечіткої логіки	+	+
5.		Метод розрахунку тривалості фаз з використанням нейромереж	+	+
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Регулювання тривалості фаз світлофорної сигналізації з застосуванням нечіткого логічного виведення. Ця технологія є доступною з точки зору апаратної і програмної реалізації.				

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	50000000 грн
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає обмежень
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ, міжнародна сертифікація
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	35%

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Системи керування дорожнім рухом в містах	Представники організацій по організації руху, органи місцевого самоврядування	Основна ціль всіх груп клієнтів однакова – керування дорожнім рухом	Система повинна бути автоматизованою, уніфікованою, недорогою, надійною

Таблиця 5.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Поява нових конкурентів на ринку	Зменшення долі на ринку	Збільшення витрат на рекламу, створення нових технологічних рішень
2.	Знецінення гривні	Зменшення попиту на ринку України	Вливання на іноземний ринок

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Попит на системи керування в ЦООД	Збільшення долі ринку, можливість розвитку нових систем	Збільшення обсягів виробництва
2.	Зменшення ціни на	Зменшення	Вихід на нові ринки збуту

	електричні компоненти	собівартості продукту, що призведе до зростання попиту	
--	-----------------------	--	--

Таблиця 5.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції – чиста	На ринку присутні конкурентні компанії зі схожими технологіями	Зменшення собівартості, вдосконалення технологій, нові додаткові можливості
2. За рівнем конкурентної боротьби – глобальний	Вихід на зовнішні ринки, відсутність локальних конкурентів	Продаж продукції за мінімально можливою ціною
3. За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Конкуренція на ринку засобів автоматизації	Необхідно зосередити зусилля на пошуку конкурентних переваг, які дозволять компанії займати стійкі конкурентні позиції на даному ринку
4. Конкуренція за видами товарів – товарно-родова	Конкуренція на рівні технології задоволення потреб. Існує конкуренція з іншими компаніями	Ведення конкурентної боротьби в технологічній сфері
5. За характером конкурентних переваг –	Для значної частки споживачів визначальною	Ведення конкурентної боротьби в технологічній

нецінова	при виборі є технічна перевага, або забезпечення технічних вимог	сфері
6. За інтенсивністю – марочна		Диференціація систем

Таблиця 5.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	«SEA»; «Росток-Елеком»	Відсутні бар'єри входження в ринок	Цінові Значення розміру поставок – відсутні\цінові	Фактор вибору	Розширення функціоналу продукту конкурента
Висновки:	Інтенсивність конкурентоспроможності – висока	- є можливості входу в ринок; - наявно 2 головних конкуренти; - строки виходу на ринок: середньо-строкові	Постачальники не диктують умов	Споживач обирає необхідний йому технічні характеристики, можливість масштабування, Приваблива ціна	Обмеження для роботи на ринку через товари-замінники

Таблиця 5.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Ціновий	Ціна на продукт
2.	Продуктова диференціація	Наявність різновиду пристрою за функціоналом
3.	Динаміка галузі	Наявність попиту на продукт
4.	Продуктова лінія	Наявність видових різновидів пристрою

Таблиця 5.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «проекту»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з продуктом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ціновий	5	0	0	0	0	1	0	0
2.	Продуктова диференціація	10	0	0	0	0	0	0	1
3.	Динаміка галузі	15	0	0	0	0	0	1	0
4.	Продуктова лінія	10	0	0	0	0	0	0	1

Таблиця 5.12 – SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <p>Нові технології</p> <p>Надійне обладнання</p> <p>Технічні характеристики продукту</p> <p>Функціональність</p> <p>Ресурси</p>	<p>Слабкі сторони:</p> <p>Відсутність досліджень з приводу аналізу нових каналів збуту</p>
<p>Можливості:</p> <p>Зростання ринку</p> <p>Підтримка зі сторони інвесторів</p> <p>Зарубіжний ринок</p>	<p>Загрози:</p> <p>Внутрішній ринок</p>

Таблиця 5.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Використання засобів стимулювання збуту та мерчандайзингу для збільшення продаж	Отримання ресурсів від інвестицій	До 2-х років
2.	Розширення асортиментної лінійки за рахунок створення нових продуктів	Отримання ресурсів від інвестицій	До 5-х років
3.	Збільшення представленості на міжнародній арені	Отримання довгострокових кредитів	До 10 років

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 5.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
	Концентрований маркетинг	Вузькоспеціалізовані потреби	Орієнтований попит – великий	Конкуренція представлена 2-ма виробниками регіонального значення	Середня з майбутньою перспективою
Які цільові групи обрано: було обрано концентрований маркетинг – робота із спеціалізованими галузями, для яких потрібно вирішувати задачі позиціонування					

Таблиця 5.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Конкурентна стратегія	Посилити використання таких конкурентних переваг як унікальне позиціонування та рівень диференціації	Посилення тиску зі сторони товарів конкурентів	Стратегія спеціалізації
2.	Цінова стратегія	Даний метод дозволить регулювати ціни в залежності від витрат виробництва, а також забезпечити цільовий прибуток	1.Регулювання цін на логістичну діяльність з боку держави; 2.Дефіцит якісного людського персоналу; 3.Зростання цін на витратні матеріали; 4.Коливання попиту.	Стратегія лідерства по витратах
3.	Стратегія просування	Для збільшення обсягів реалізації, формування лояльності споживачів	1. Зростання числа клієнтів; 2. Залежність попиту від купівельної спроможності	Стратегія спеціалізації

			споживачів 3.Збільшення інтенсивності конкуренції між існуючими гравцями	
--	--	--	--	--

Таблиця 5.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
	Ні	Компанія буде шукати нових споживачів	Компанія не буде копіювати основні характеристики товару	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таблиця 5.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/ п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспромо жні позиції власного стартап- проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
	1. Точність 2. Зона охопту	Стратегі я	1. Велика зона охопту	1. Ціна 2. Надійність

	3. Масштабування 4. Прийнятна ціна	спеціалі зації	2. Точність 3. Завадостійкість 4. Доступність технології	3. Контроль
--	---------------------------------------	-------------------	---	-------------

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 5.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1.	Ціна	Дешевше, ніж у конкурентів	Дешевше, ніж у конкурентів
2.	Якість	Точність позиціонування, завадостійкість	Точність відповідає технічним вимогам галузі, технології передачі даних є стійкими до спотворення
3.	Дальність	Більше покриття	Більша зона охопту базової станції призводить до зменшення кількості базових станцій на відміну від конкурентів

Таблиця 5.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за здумом	Система керування дорожнім рухом у місті		
	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Світлофорні об'єкти	Нм	Тх
	2. Програмне забезпечення	Нм	Тх
	3. Живлення (електроенергія)	М	Тл
	4. Автоматизована система	Нм	Тл

	Якість: тестування за державними і міжнародними стандартами
	Пакування: без пакування, розгортання та налаштування системи на об'єкті
	Марка: в процесі розробки
	До продажу: інформацію про товар можна дізнатися у менеджерів та технічних консультантів
	Після продажу: повністю готовий для роботи
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: товар буде захищено за рахунок інтелектуальної власності і новітніх розроблених систем (ноу-хау)	

Таблиця 5.20 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	Більше 500000 грн	Більше 500000 грн	Від 10 млн. грн до 50 млн. грн	Від 250000 до 500000

Таблиця 5.21 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Власна система збуту	Доставляти товар до клієнтів, проводити повне впровадження системи та тестування на об'єкті	Вертикальна система	Багатоканальні системи збуту

Таблиця 5.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонуванн я	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Власники підприємств або інвестори в галузі, що готові що впровадженн я новітніх технологій	Спеціалізован і форуми та виставки в галузі	Доступність та об'єктивність інформації про фірму та товар	Вплив на процес прийняття рішення про купівлю	Підкреслен ня переваг продукту

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Наведено основні теоретичні відомості про предметну галузь. Розглянуто особливості світлофорного регулювання на перехрестях.
2. Проведено огляд та аналіз існуючих рішень автоматизованих систем керування дорожнім рухом.
3. Розроблено структурну схему системи реєстрації дорожнього руху. Обрана трирівнева ієрархія побудови дає чітку схему підпорядкувань, що позитивно впливає на організацію роботи дорожніх служб та інших зацікавлених структур.
4. Розроблено структурні схеми підсистем реєстрації дорожнього руху, світлофорного регулювання, керування зовнішнім освітленням. Функціональне розбиття на підсистеми дає змогу впроваджувати їх окремо в залежності від потреб міста, району або окремого регульованого перехрестя.
5. Розроблено функціональну схему блоку світлофорної сигналізації. Проведено огляд технологій, інтерфейсів та пристроїв, які необхідні для реалізації схеми.
6. Проведено дослідження сучасних розробок, що стосуються світлофорного регулювання, розрахунку оптимальної тривалості фаз в залежності від дорожньої ситуації.
7. Описано математичний апарат нечітких множин та нечітких продукційних систем, якій використано для побудови моделі гнучкого світлофорного регулювання.
8. Проведено дослідження транспортного потоку в м. Києві. Побудовані графіки діаграми транспортного потоку за результатами розрахунків, які засновані на визначеннях безпечних дистанцій та за результатами натурних спостережень.
9. Побудована модель системи нечіткого логічного виведення для розрахунку тривалості фаз в залежності від інтенсивності руху і щільності

транспортного потоку. В якості експертних даних використані результати дослідження транспортного потоку.

10. Розроблено алгоритм програми блоку керування світлофорною сигналізацією. Описано особливості його роботи.

11. Проведено техніко-економічний аналіз розробки в рамках стартап-проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Список стран по количеству автомобилей на 1000 человек [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%BE%D0%BA_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD_%D0%BF%D0%BE_%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D1%83_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D0%B9_%D0%BD%D0%B0_1000_%D1%87%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BA (дата звернення 01.11.2019).
2. В Украине вырос уровень автомобилизации. Лидирует Киев [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу:
<http://autoconsulting.ua/article.php?sid=35442> (дата звернення 01.11.2019).
3. Степанчук О. В. Методологія підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст : дис. докт. техн. наук : 05.23.20 / Степанчук Олександр Васильович – Київ, 2018. – 444 с.
4. Полозенко П. М. Комплексна оцінка режимів світлофорного регулювання на перехрестях : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.01 / Полозенко Павло Миколайович – Київ, 1999. – 19 с.
5. Федорчук Т. Кто и как управляет светофорами в Украине [Електронний ресурс] / Татьяна Федорчук. – 2018. – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.autocentre.ua/avtopravo/pdd-i-bezopasnost/kto-i-kak-upravlyaet-svetoforami-v-ukraine-593760.html> (дата звернення 01.11.2019).
6. Програма розвитку автоматизованих систем управління транспортом м. Києва АСУТ (АСКДР, АСДУ) на 2007 - 2009 роки [Електронний ресурс]. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: http://kmr.ligazakon.ua/SITE2/1_docki2.nsf/alldocWWW/8AE89D2093FEC037C22573C000533667?OpenDocument (дата звернення 01.11.2019).
7. Пугачёв И. Н. Организация и безопасность дорожного движения / И. Н. Пугачёв, А. Э. Горев, Е. М. Олещенко. – Москва: Академия, 2009. – 272 с.

8. Степанчук О. В. Організація дорожнього руху. Конспект лекцій [Електронний ресурс] / Олександр Васильович Степанчук. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/29077/5/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9.pdf> (дата звернення 01.09.2019).
9. Traffic Signal Timing Manual [Електронний ресурс] // United States Department of Transportation - Federal Highway Administration. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08024/chapter6.htm> (дата звернення 01.09.2019).
10. АСУДД: Эволюция «умных» светофоров [Електронний ресурс]. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/post/125282/> (дата звернення 01.09.2019).
11. Распределённые системы автоматизации [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://bookasutp.ru/Chapter1_1_3.aspx (дата звернення 15.09.2019).
12. Кременец Ю. А. Технические средства организации дорожного движения / Юрий Александрович Кременец. – Москва: Академкнига, 2005. – 279 с.
13. Горев А. Э. Информационные технологии на транспорте: учебник для академического бакалавриата / Андрей Эдливич Горев. – Москва: Юрайт, 2019. – 289 с. – (Бакалавр. Академический курс; вип. 2).
14. ДСТУ 4092-2002 «Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосовування та вимоги безпеки».
15. Светофоры дорожные светодиодные [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sea.com.ua/svetofofnaya-produkciya/svetofory-doroznye-svetodiodnye/> (дата звернення 15.09.2019).
16. Микроконтроллеры: краткий обзор [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://myrobot.ru/stepbystep/mc_meet.php (дата звернення 20.09.2019).

17. Современные микроконтроллеры. Архитектура, особенности различных типов микроконтроллеров [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://studfile.net/preview/7580551/page:6/> (дата звернения 20.09.2019).
18. Решения Microchip для промышленных и высокопроизводительных сетей Ethernet [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.compel.ru/lib/83908> (дата звернения 20.09.2019).
19. Промышленный Ethernet от ST: всё и сразу [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.compel.ru/lib/54887> (дата звернения 20.09.2019).
20. Технология GPRS [Электронный ресурс]. – 2005. – Режим доступа до ресурсу: <https://cxem.net/sotov/sotov13.php> (дата звернения 20.09.2019).
21. Седых И. А. Гибкое управление светофорной системой перекрестка на основе нейронных сетей / И. А. Седых, Д. С. Демахин. // Искусственный интеллект. – 2017. – №1. – С. 94–100.
22. Тимофеева О. П. Проектирование интеллектуальной системы управления светофорами на основе нейронной сети / О. П. Тимофеева, Е. М. Малышева, Ю. В. Соколова. // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №6.
23. Тарасов О. В. Оптимизация режимов работы объектов светофорного регулирования методами нечеткой логики / О. В. Тарасов, С. Н. Корнилов. // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2012. – №1. – С. 139–143.
24. Андронов С.А. Разработка и исследование имитационной модели светофорного регулирования на основе нечеткой логики в среде AnyLogic : тезисы доп. научно-практической. конф., 21–23 октября 2015 г. / Седьмая всероссийская научно-практическая конференция «ИММОД-2015». – Москва: ФЭН, 2015. – С. 443–449.
25. Андронов С. А. Сравнение эффективности адаптивных алгоритмов светофорного регулирования в среде AnyLogic / Сергей Александрович Андронов. // Программные продукты и системы. – 2019. – №1. – С. 150–158.

26. Оптимизация цикла работы светофора на регулируемом перекрестке / М. Г. Бояршинов, И. Н. Бояршинова, И. А. Потапова, И. А. Исмагилов. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2017. – №3. – С. 85–93.
27. Рейцен Е. А. Оптимизация цикла работы светофора с использованием методов линейного программирования / Е. А. Рейцен, А. Г. Богданов. // Містобудування та територіальне планування. – 2003. – №1. – С. 143–151.
28. Расчет режимов работы светофорного объекта в условиях насыщенного движения / А. А. Власов, Н. А. Орлов, Д. В. Портов, П. Б. Скрипкин. // Научное обозрение. Технические науки. – 2015. – №1. – С. 112–113.
29. Ахмадинуров М. М. Модели массового обслуживания в задаче оптимизации работы светофора / М. М. Ахмадинуров, Г. А. Тимофеева. // Вестник СГТУ. – 2011. – №1. – С. 217–227.
30. Власов А. А. Методика расчета режимов работы светофорных объектов в условиях насыщенного движения / А. А. Власов, Н. А. Орлов, К. А. Чушкина. // Науковедение: интернет-журнал. – 2014. – №2. – С. 99.
31. Голубков А. С. Адаптивное управление дорожным движением на базе системы микроскопического моделирования транспортных потоков / А. С. Голубков, В. А. Царев. // Информационно-управляющие системы. – 2010. – №5. – С. 15–19.
32. Нечітка логіка [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.wikiwand.com/uk/%D0%9D%D0%B5%D1%87%D1%96%D1%82%D0%BA%D0%B0_%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D0%BA%D0%B0 (дата звернення 01.10.2019).
33. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Александр Васильевич Леоненков. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
34. Продукційні правила [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.wikiwand.com/uk/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%B>

A%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D0%B0 (дата звернення 01.10.2019).

35. Система нечіткого виведення [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.wikiwand.com/uk/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%BD%D0%B5%D1%87%D1%96%D1%82%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%B2%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F (дата звернення 01.10.2019).

36. Штовба С. Д. Проектирование нечётких систем средствами MATLAB / Сергей Дмитриевич Штовба. – Москва: Горячая линия - Телеком, 2007. – 288 с.

37. Фоменко О. Я. Правила дорожнього руху України: автошкола (коментар у малюнках) / О. Я. Фоменко, Б. Л. Раціборинський, В. Є. Гусар. – Київ: УКРСПЕЦВИДАВ, 2018. – 112 с.

38. Гальмівний шлях [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BC%D1%96%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%88%D0%BB%D1%8F%D1%85 (дата звернення 01.10.2019).

39. Тормозной путь автомобиля [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://auto-dor.com.ua/tormoznoy-put-avtomobilya/> (дата зверн. 01.10.2019).

40. Прийоми безпечного гальмування автомобілем на сухій та слизькій дорогах [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ncpn.net.ua/priyomi-galmuvannya-avtomoblem.html> (дата звернення 01.10.2019).

41. Время реакции водителя [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://studepedia.org/index.php?vol=1&post=40858> (дата зверн. 01.10.2019).

42. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Електронний ресурс] / Сергей Дмитриевич Штовба – Режим доступу до ресурсу: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php> (дата звернення 01.10.2019).

43. Ротштейн А. П. Идентификация нелинейных зависимостей нечеткими базами знаний / А. П. Ротштейн, Д. И. Кательников. // Кибернетика и системный анализ. – 1998. – №5. – С. 53–61.

ДОДАТОК А

ДОДАТОК Б

ДОДАТОК В

ДОДАТОК Г

ДОДАТОК Д

ДОДАТОК Е

ДОДАТОК Ж

ДОДАТОК 3

ДОДАТОК К

ДОДАТОК Л

Fuzzy Inference System

```
[System]
Name='TLR'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=4
NumOutputs=1
NumRules=16
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='prod'
AggMethod='sum'
DefuzzMethod='wtaver'
```

```
[Input1]
Name='q1-3'
Range=[0 160]
NumMFs=3
MF1='Низька': 'gaussmf', [33.97 0]
MF2='Середня': 'gaussmf', [33.97 80]
MF3='Висока': 'gaussmf', [33.97 160]
```

```
[Input2]
Name='N1-3'
Range=[750 2750]
NumMFs=2
MF1='Низька': 'gaussmf', [849.3 750]
MF2='Висока': 'gaussmf', [849.3 2750]
```

```
[Input3]
Name='q2-4'
Range=[0 160]
NumMFs=3
MF1='Низька': 'gaussmf', [33.96 0]
MF2='Середня': 'gaussmf', [33.96 80]
MF3='Висока': 'gaussmf', [33.96 160]
```

```
[Input4]
Name='N2-4'
Range=[750 2750]
NumMFs=2
MF1='Низька': 'gaussmf', [849.3 750]
MF2='Висока': 'gaussmf', [849.3 2750]
```

```

[Output1]
Name='T1-3'
Range=[0 1]
NumMFs=5
MF1='20(40)':'constant',[20]
MF2='25(35)':'constant',[25]
MF3='30(30)':'constant',[30]
MF4='35(25)':'constant',[35]
MF5='40(20)':'constant',[40]

```

```

[Rules]
1 1 1 1, 3 (1) : 1
1 1 1 2, 3 (1) : 1
1 1 2 2, 2 (1) : 1
1 1 3 1, 1 (1) : 1
1 2 1 1, 3 (1) : 1
1 2 1 2, 3 (1) : 1
1 2 2 2, 2 (1) : 1
1 2 3 1, 1 (1) : 1
2 2 1 1, 4 (1) : 1
2 2 1 2, 4 (1) : 1
2 2 2 2, 3 (1) : 1
2 2 3 1, 2 (1) : 1
3 1 1 1, 5 (1) : 1
3 1 1 2, 5 (1) : 1
3 1 2 2, 4 (1) : 1
3 1 3 1, 3 (1) : 1

```

ДОДАТОК М

Тези, що доповідались на ІІІ Науково-практичній конференції Winter InfoCom Advanced Solutions 2018 (Київ, 2018).

Road traffic control system

Vladyslav Pavlovski
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
Kyiv, Ukraine
vladyslav.pavlovskyi@gmail.com

Viktor Dolyna
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
Kyiv, Ukraine
v_79@gmail.com

Abstract. The structure of road traffic control system in the city is developed. Considered the subsystems of traffic registration, meteorological monitoring, traffic control, control of external lighting. Outlined the tasks they perform. Described methods of traffic light regulation.

Keywords: intelligent transport system, traffic control system, traffic light regulation.

Система керування дорожнім рухом в місті

Павловський Владислав Олександрович
НТУУ КПІ імені Сікорського
Київ, Україна
vladyslav.pavlovskyi@gmail.com

Долина Віктор Георгійович
НТУУ КПІ імені Сікорського
Київ, Україна
v_79@gmail.com

Анотація. Розроблено структуру системи керування дорожнім рухом у місті. Розглянуто підсистеми реєстрації дорожнього руху, метеомоніторингу, керування дорожнім рухом, керування зовнішнім освітленням. Окремлено задачі, які вони виконують. А також описано методи світлофорного регулювання.

Ключові слова: інтелектуальна транспортна система, АСУ дорожнім рухом, світлофорне регулювання.

ВСТУП

На даний час в світі існує гостра проблема організації дорожнього руху транспортних засобів. Задачі збільшення швидкості руху в містах з проблемами трафіку, зменшення часу пересування, забезпечення безпеки руху вирішують інтелектуальні транспортні системи.

Інтелектуальна транспортна система (ІТС) – це комплекс програмно-апаратних засобів та організаційних заходів, що забезпечують системну інтеграцію сучасних інформаційних і комунікаційних технологій і засобів автоматизації з транспортною інфраструктурою,

орієнтований на підвищення безпеки та ефективності транспортного процесу, комфортності для водіїв і користувачів транспорту. Інтелектуальні транспортні системи забезпечують комбіноване управління з опорою на статистичні дані та інформацію, що отримується в реальному часі [1, 2].

Розділяють системи керування дорожнім рухом в місті та системи керування рухом на автомагістралях, оскільки задачі та методи їх вирішення відрізняються.

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ У МІСТІ

Система керування дорожнім рухом у місті включає ряд підсистем, які виконують певні функції (рис. 1) [3].

Підсистема реєстрації дорожнього руху складається з відеокамери, детектора транспортного потоку, блоку динамічного зважування, блоку керування, а також блоків, що забезпечують функціонування системи (передачу даних, енергоживлення тощо). Вона надає в операційний центр по контролю за даною ділянкою дороги інформацію про інтенсивність руху, середню швидкість потоку, ДТП,

пробки, стан дорожнього покриття. Завдання, які вирішує система реєстрації дорожнього руху: розпізнавання державних номерних знаків транспортних засобів; фотофіксація транспортних засобів; фіксація порушень ПДР; фіксація порушень швидкісного режиму; визначення загального і поосного навантаження транспортних засобів.

Метеостанція збирає інформацію про погодні умови та стан дорожнього покриття. Метеостанції періодично передають інформацію про погодні умови в вигляді текстового або XML файлу в операційний центр та АСУ дорожнім рухом. Погодна інформація може вплинути на введення певних швидкісних обмежень, а також на запуск специфічних керуючих сценаріїв.

Використовуючи аналітику в реальному часі даних з цих джерел і пов'язуючи їх з деякими тенденціями, з'являється можливість управляти потоком трафіку.

Підсистема управління дорожнім рухом складається з світлофорів, знаків змінної інформації, електронних табло, блоку керування а також блоків, що забезпечують функціонування системи.

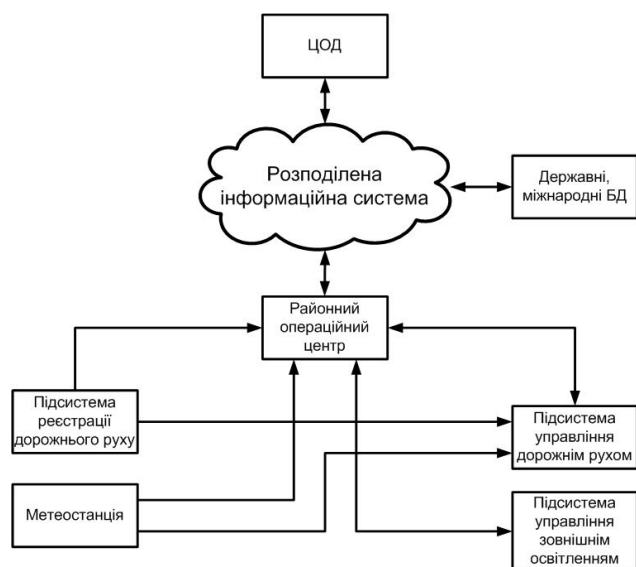


Рис. 1. Структурна схема системи керування дорожнім рухом в місті

Знаки змінної інформації та електронні табло є засобами інформування учасників дорожнього руху про ситуацію на дорозі. Інформація на них передається з операційного центру і є результатом обробки даних, що надходять з підсистем відеоспостереження і метеостанцій.

Знаки змінної інформації призначені для видачі водіям обов'язкової або рекомендованої інформації про організацію руху: показчик швидкості, проведення ремонтних робіт на проїжджій частині, зміни в організації руху (в тому числі про часткове перекриття доріг, перехресть, з'їздів).

Електронні табло інформують про: збої в русі (заторах, ДТП, зупинках транспортних засобів через поломки); обмеження руху (при проведенні спеціальних заходів правоохоронними органами, санкціонованих масових заходах тощо); проведення робіт на проїжджій частині; маршрути об'їзду місць скупчення транспорту; обмеження

швидкості руху, стан дорожнього покриття в зв'язку з метеорологічною ситуацією.

Знаки змінної інформації та електронні табло доцільно застосовувати на дорогах виходячи з потреб певної ділянки.

Підсистема управління зовнішнім освітленням складається з датчиків освітленості, детекторів пішоходів, ліній освітлення дороги та освітлення пішохідної зони.

КЕРУВАННЯ СВІТЛОФОРАМИ

Світлофорне регулювання транспортних потоків – одна із складових частин задачі керування дорожнім рухом у місті.

Концепція автоматичного світлофора була запропонована в 1928 році. У період з 1928 по 1930-й роки винахідники запропонували різні конструкції детекторів тиску, що визначають наявність автомобілів на перехресті. У 1952 році в Денвері встановили перший аналоговий контролер, який дозволив об'єднати кілька розрізнених перехресть в єдину керовану мережу і перемикає заздалегідь розраховані плани координації в залежності від часу доби і днів тижня. Подібні системи активно використовували параметр зсуву, включаючи зелений не відразу на всіх перехрестях, а зі зміщенням, що залежать від відстані між перехрестями і параметрів транспорту.

У 70-ті роки стали з'являтися системи управління, які поєднували переваги фіксованих планів координації для мережі і адаптивного управління, коли «розумний» світлофор сам регулює цикл і тривалість зелених сигналів. Також розвивалися і повністю адаптивні алгоритми управління. Зараз різниця в ефективності управління між «чутливими» і адаптивними системами практично стерлася [4].

В даний час ведуться розробки інтелектуальних світлофорів, які змогли б повністю самостійно приймати рішення про включення (або виключення) того чи іншого світлофора на перехресті опираючись на інформацію про завантаженість доріг, про час простою машин на перехресті, а також статистичні дані про завантаженість дороги в певний час доби, в певний день тижня. Щоб своєчасно реагувати на постійно мінливу дорожню ситуацію, інтелектуальні світлофори повинні мати можливість навчання. Для цих цілей найбільш підходящим варіантом рішення є застосування штучної нейронної мережі, що має можливість самонавчання [5, 6].

Висновки

В роботі розроблено структурну схему системи керування дорожнім рухом в місті виходячи з розвитку сучасних технологій. Розглянуто підсистеми і завдання, які вони вирішують. Також розглянуто історію розвитку світлофорного регулювання та поставлено сучасні задачі, які треба вирішувати.

ЛІТЕРАТУРА

1. Интеллектуальные транспортные системы [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.gisexpert.org/node/37> (дата звернення 01.10.2018).

2. Умный трафик [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://iot.ru/wiki/umnyy-trafik> (дата звернения 01.10.2018).

3. АСУДД: Что висит над дорогой? [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/post/124249/> (дата звернения 01.10.2018).

4. АСУДД: Эволюция «умных» светофоров [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/post/125282/> (дата звернения 01.10.2018).

5. Traffic Signal Timing Manual [Электронный ресурс] // United States Department of Transportation - Federal Highway Administration. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08024/chapter6.htm> (дата звернения 01.10.2018).

6. Тимофеева О. П. Проектирование интеллектуальной системы управления светофорами на основе нейронной сети / О. П. Тимофеева, Е. М. Малышева, Ю. В. Соколова. // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №6. (дата звернения 01.10.2018).

